

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет науки і технологій
Кафедра «Автоматика та телекомунікації»

ДОВІДКА

про відсутність плагіату у випускній кваліфікаційній роботі

За результатами перевірки випускної кваліфікаційної роботи (ВКР) здобувача вищої освіти освітнього ступеня (ОС) «магістр»

Кірпикіна Кириля Васильовича

на тему:

Розробка мікропроцесорного локомотивного пристрою забезпечення безпеки руху поїзда

в роботі не виявлено порушень академічної доброчесності.

Керівник ВКР


14.12.2021



Гончаров К. В.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Український державний університет науки і технологій

Кафедра «Автоматика та телекомунікації»

«ДО ЗАХИСТУ»
Завідувач кафедри

(підпис) Гаврилюк В.І.
(ПІБ)
20 21 р. 12 « 16 »

ДИПЛОМНА РОБОТА
на здобуття освітнього ступеня «магістр»

Галузь знань 15 «Автоматизація та приладобудування»

Спеціальність 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

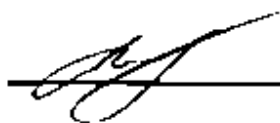
Спеціалізація «Автоматика та автоматизація на транспорті»

Тема Розробка мікропроцесорного локомотивного пристрою забезпечення безпеки руху поїзда

Theme Development the microprocessor locomotive device to ensure of train safety

Керівник дипломної роботи

доцент



Гончаров К.В.

Студент групи АТ1611 (967М)



Кірпикін К.В.

Student

АТ1611 (967М)



Kirpikin Kirill

Дніпро
2021

Український державний університет науки і технологій

Факультет «Комп'ютерні технології і системи»

Кафедра «Автоматика та телекомунікації»

151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

«Автоматика та автоматизація на транспорті»

Спеціальність
Освітня програма

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Завідувач кафедри АТ

Гаврилюк В.І.

« ____ » _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ

до дипломної роботи на здобуття освітнього ступеню «магістр»

Кірпи́кін Кирил Васильович

(прізвище, ім'я та по батькові)

1. Тема роботи Розробка мікропроцесорного локомотивного пристрою забезпечення безпеки руху поїзда

Затверджена наказом по університету № 630-ст від « 19 » жовтня 2020 р.

2. Термін подання студентом закінченої роботи _____

3. Вихідні дані до роботи _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Назва розділу	Обсяг %	Кількість креслень
1.		
2.		
3.		
4.		
5.		
6.		
7.		

Студент
Науковий керівник

РЕФЕРАТ

Відомості про об'єм пояснювальної записки: 70 сторінок, 25 рисунків, 15 літературних джерел.

Ключові слова: автоматична локомотивна сигналізація, контроль пильності машиніста, електродермальна активність, фотоплетизмографія, датчик швидкості, мікроконтролер.

Об'єкт проектування: локомотивні пристрої забезпечення безпеки руху поїзда.

Мета магістерської роботи: підвищення безпеки руху поїздів шляхом удосконалення пристроїв локомотивної автоматики.

У першому розділі приведений аналіз існуючих систем автоматичної локомотивної сигналізації (АЛС), а також комплексних локомотивних пристроїв забезпечення безпеки руху поїздів. Проаналізовані їх функції, переваги та недоліки.

У другому розділі запропонована структурна схема та алгоритм роботи локомотивного пристрою забезпечення безпеки руху поїзда. Розроблена також принципова електрична схема оптоелектронного датчика шляху та швидкості поїзда.

У третьому розділі розглянуто особливості роботи машиніста. Проведено аналіз існуючих методів контролю функціонального стану та пильності людини, розглянуто переваги та недоліки контактних і безконтактних методів.

Четвертий розділ присвячений розробці пристрою контролю фізіологічного стану та пильності машиніста. Запропоновано структурну схему та алгоритм роботи пристрою, розроблені принципові електричні схеми його складових частин.

Галузь застосування: системи залізничної автоматики.

Висновок: Безпека руху поїзда багато в чому залежить від правильних та своєчасних дій працівників локомотивної бригади. Впровадження розроблених пристроїв дозволяє своєчасно виявити зниження рівня працездатності та пильності машиніста, що, в свою чергу, забезпечує підвищення безпеки руху поїзда.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ ЛОКОМОТИВНИХ ПРИСТРОЇВ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕКИ РУХУ ПОЇЗДА.....	8
1.1 Різновиди локомотивних пристроїв забезпечення безпеки руху поїзда	8
1.2 Комплексний локомотивний пристрій забезпечення безпеки руху поїзда КЛУБ-У	10
1.2.1 Функції КЛУБ-У	10
1.2.2 Структура системи КЛУБ-У.....	12
1.3 Система АЛС-МУ	16
1.4. Система Improtrain 250.....	17
1.5. Європейська система управління залізничними перевезеннями ERTMS.....	19
1.5.1. Особливості системи ERTMS	20
1.5.2. Рівні системи ERTMS.....	21
1.6 Висновки по розділу 1	24
РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА ЛОКОМОТИВНОГО ПРИСТРОЮ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕКИ РУХУ ПОЇЗДА.....	25
2.1. Призначення та функції локомотивного пристрою забезпечення безпеки руху поїзда	25
2.2. Структура та принцип дії пристрою.....	26
2.3. Алгоритм роботи локомотивного пристрою забезпечення безпеки руху поїзда.....	30
2.4. Розробка датчика шляху та швидкості	35
2.5. Висновки по розділу 2	38
Розділ 3. ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ МЕТОДІВ КОНТРОЛЮ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО СТАНУ ТА ПИЛЬНОСТІ МАШИНІСТА	39
3.1 Особливості роботи машиніста	39
3.2 Різновиди методів контролю функціонального стану та пильності ...	40
3.3 Безконтактні методи контролю	41
3.3.1. Контроль пильності в системі АЛСН.....	41
3.3.2. Система Driver Fatigue Monitor.....	42
3.4 Контактні методи контролю.....	43
3.4.1. Система Sleep Alert	43

3.4.2. Фітнес-браслети.....	44
3.4.3.Телемеханічна система контролю пильності машиніста (ТСКБМ)	45
3.5 Висновок по Розділу 3	48
РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА ПРИСТРОЮ КОНТРОЛЮ ФІЗІОЛОГІЧНОГО СТАНУ ТА ПИЛЬНОСТІ МАШИНІСТА	50
4.1. Алгоритм контролю фізіологічного стану та пильності машиніста ..	50
Рис. 4.1. Залежності T_{EDA} та N від часу.....	51
4.2. Розробка носимої частини пристрою	53
4.2.1. Структура та принцип дії пристрою контролю	53
4.2.2. Опис принципової електричної схеми носимої частини	54
4.3. Розробка приймальної частини пристрою	59
4.3.1. Структура та принцип дії приймальної частини.....	59
4.3.2. Опис принципової електричної схеми радіоприймача	60
4.3.3. Опис принципової електричної схеми контролера та блоку індикації	63
4.4. Висновки до розділу 4.....	66
ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ	67
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	69

Залізничний транспорт і розвиток залізниць – безсумнівно приклад великого технічного прогресу людства. Постійна необхідність збільшення ефективності і зниження вартості перевезень призводить до появи нових технологій та розвитку широкої залізничної мережі. На сьогоднішній день загальна протяжність лише високошвидкісних магістралей у світі понад 20 тис.км, з них в Європі експлуатується понад 7 тис.км. Проте проектування і будівництва нових ліній високошвидкісного руху не припиняється й на сьогоднішній час. Разом із розвитком високошвидкісної залізничної мережі Європи, протяжність якої у 2020 р. складає приблизно 10 тис.км, зростають також вимоги до забезпечення безпеки руху поїздів.

Досить часто можна почути про аварії, які сталися через втому водіїв. Грудень, 2013 року, машиніст із десятирічним стажем роботи — Вільям Рокфеллер, заснув прямо під час керування поїздом Метро-Норт на швидкості 130 км/год, на ділянці дороги, де дозволена швидкість 50 км/год. Він встиг прокинутися, але поїзд все ж таки зійшов з колії. Десятки людей постраждали, четверо людей загинули.

Недосипанням спричинило ще одну аварію у 2013 році. Потяг Amtrak у Філадельфії зійшов з колії, загинули 8 людей. Машиніст Брендон Бостіан був перевтомлений через новий стомлюючий розклад поїздів.

6 листопада 1986 року, заснули машиністи локомотива поїзда №635 «Кривий Ріг – Київ», та їх некерований поїзд в'їхав на чужий шлях, помчавши назустріч потягу №38 «Київ – Донецьк». О 03.02 ночі, на станції Користівка Кіровоградської області, ці потяги зустрілися, і сталася одна із найбільших залізничних катастроф в історії СРСР.

Аналізуючи системи автоматичної локомотивної сигналізації, які експлуатуються на залізницях України в даний момент, можна дійти висновку, що вони не досконалі. Зважаючи на тенденцію до збільшення швидкостей руху поїздів, виникає необхідність модернізації систем локомотивної автоматики. Можна виділити два напрямки щодо удосконалення таких систем: застосування більш сучасної елементної бази та розширення функціональних можливостей.

В рамках даної роботи пропонується структура та алгоритм роботи сучасного багатофункціонального локомотивного пристрою забезпечення безпеки руху поїзда. Окрема увага приділяється розробці інтелектуального пристрою контролю функціонального стану та пильності машиніста.

РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ ЛОКОМОТИВНИХ ПРИСТРОЇВ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕКИ РУХУ ПОЇЗДА

1.1 Різновиди локомотивних пристроїв забезпечення безпеки руху поїзда

Основним засобом регулювання руху поїздів на магістральних лініях є автоблокування. Однак при автоблокуванні у випадках поганої видимості світлофорів, неуважності або втраті пильності машиніста не виключається проїзд світлофорів з жовтим вогнем з неприпустимою швидкістю, а при несвоєчасному гальмуванні проїзд світлофора з червоним вогнем.

Для вирішення проблем та поліпшення умов ведення поїздів і підвищення безпеки руху пристрої автоблокування доповнюються пристроями автоматичної локомотивної сигналізації [9]. Пристрої АЛС доповнюють такими елементами як:

- автостоп - пристрій на локомотиві, за допомогою якого приводяться в дію автогальма і здійснюється екстрене гальмування поїзда при втраті пильності машиністом. Також автостопа повинні автоматично зупинити поїзд перед закритим світлофором;

- пристрої контролю швидкості руху поїзда – системи безперервного контролю швидкості. Для контролю за діями машиністів на локомотивах застосовують швидкостеміри (СК) з реєструючими пристроями, які записують на швидкостемірну стрічку фактичну швидкість руху поїзда і реєструють горіння червоного або жовтого з червоним вогню на локомотивному світлофорі, натискання рукоятки пильності і роботу автостопа. Контроль швидкості здійснюється пристроями безпеки двічі: в момент проходження колійного світлофора з жовтим вогнем, коли на локомотивному світлофорі з'являється жовтий вогонь з червоним, а також в разі проїзду закритого колійного світлофора, супроводжуваного включенням на локомотивному світлофорі червоного вогню. При червоному вогні локомотивного світлофора швидкість не повинна перевищувати 20 км / год, а при жовтому вогні з

червоним - 60 км / год. У разі перевищення контрольованої швидкості відбувається автостопне гальмування до повної зупинки поїзда;

- пристрої перевірки пильності машиніста - рукоятка пильності (РБ), за допомогою якої машиніст вимикає свисток, що несе інформацію про можливість спрацьовування автостопа. Перевірка пильності машиніста проводиться при наближенні поїзда до закритого світлофора, починаючи з моменту зміни на локомотивному світлофорі зеленого вогню на жовтий, коли від машиніста потрібно одноразове підтвердження пильності натисканням рукоятки пильності. Далі при проходженні з жовтим вогнем (при перевищенні певної швидкості), а також при жовтому вогні з червоним і червоному вогні на локомотивному світлофорі вступає в дію періодична перевірка пильності машиніста з натисканням рукоятки пильності через 30 - 40 с. У всіх випадках, якщо не буде своєчасно натиснута рукоятка пильності, відбувається зрив електропневматичного клапана (ЕПК) і відбувається автостопне гальмування до повної зупинки поїзда.

При АЛС локомотивні світлофори мають давати показання, відповідні показанням колійних світлофорів, до яких наближається поїзд, сигнали ЛС мають наступні сигнальні значення :

- зелений вогонь - «Дозволяється рух; на колійному світлофорі, до якого наближається поїзд, горить зелений вогонь »;

- жовтий вогонь - «Дозволяється рух; на колійному світлофорі, до якого наближається поїзд, горить один жовтий вогонь »;

- жовтий вогонь з червоним - «Дозволяється рух з готовністю зупинитися; на колійному світлофорі, до якого наближається поїзд, горить червоний вогонь »;

- червоний вогонь спалахує в разі проїзду колійного світлофора з червоним вогнем та у разі відсутності кодів в рейковому колі при в'їзді поїздів на зайняту блок-ділянку. При чотиризначному автоблокуванні перед вхідним або інших станційних світлофорах з жовтим миготливим вогнем локомотивних світлофором подається жовтий вогонь, щоб поїзд міг знизити завчасно швидкість на двох блок-ділянках до світлофора з двома жовтими вогнями, або

зелений вогонь (з міркувань прискорення пропуску приміських поїздів), якщо відхилення на бокову колію відбувається далеко за світлофором з двома вогнями.

- білий вогонь локомотивного світлофора вказує, що хоча локомотивні пристрої увімкнені, але немає сигналів від колійних світлофорів. Машиніст повинен керуватися показаннями колійних світлофорів[9].

1.2 Комплексний локомотивний пристрій забезпечення безпеки руху поїзда КЛУБ-У

1.2.1 Функції КЛУБ-У

Застосовувані раніше локомотивні пристрої системи АЛСН мали недостатню надійність і обмежені функціональні можливості щодо забезпечення безпеки руху поїзда. Для підвищення надійності, безпеки і розширення функцій цих пристроїв було розроблено та організовано серійне виробництво комплексного уніфікованого локомотивного пристрою безпеки (КЛУБ-У). Апаратура КЛУБ-У встановлюється на локомотиві і забезпечує виконання наступних основних функцій [6]:

- прийом з рейкового кола сигналів автоматичної локомотивної сигналізації типу АЛСН і АЛС-ЕН, а також сигналів, переданих по цифровому радіоканалу, сигналів про показання колійних світлофорів, місцевих обмеження швидкості, маршрут проходження, сигналів примусової зупинки локомотива і дозволу проходження світлофора із заборонним показанням;

- визначення швидкості і координати локомотива за сигналами від осьових датчиків шляху і швидкості і апаратури супутникової навігаційної системи GPS / ГЛОНАСС; індикація машиністу залізничної координати локомотива і поточного астрономічного часу;

- безперервне формування значення допустимої швидкості руху поїзда на кожній ділянці шляху;

- формування і індикація машиністу відстані до актуальної перешкоди із зазначенням швидкості його проїзду (цільової швидкості);

- безперервний контроль фактичної швидкості руху поїзда і вразі перевищення допустимої швидкості - включення екстреного гальмування;
- виключення проїзду світлофорів із заборонними сигналами;
- виключення несанкціонованого руху локомотива (скочування);
- індикація необхідної інформації машиністу локомотива і його помічнику;
- контроль пильності машиніста шляхом фіксації натискань на рукоятку пильності при світловому сигналі «Увага», або звуковому сигналі ЕПК;
- реєстрація параметрів руху поїзда та іншої необхідної інформації на зйомну касету реєстрації для подальшої автоматизованої розшифровки за допомогою стаціонарного пристрою дешифрування (СПД);
- формування короткочасного звукового сигналу при зміні таких параметрів:
 - сигналів локомотивного світлофора;
 - кількості вільних блок-ділянок по ходу руху;
 - характеру руху (прямо / с відхиленням);
 - режиму роботи: «Поїзний», «Маневровий» і «Подвійна тяга»;
 - несучої частоти АЛСН;
 - активності каналів АЛСН, АЛС-ЕН і радіоканалу;
 - первісному появі сигналу «Увага!»;
- введення і відображення на індикаторі локомотивних і поїзних характеристик та їх збереження при вимкненні живлення;
- прийом і реєстрація сигналів від пристроїв локомотива:
 - про включення / вимикання тяги;
 - номері активної кабіни локомотива, з якої здійснюється управління;
 - стан ключа ЕПК;
 - тиску в гальмівних циліндрах, гальмової магістралі і зрівнювальному резервуарі (кожне з цих тисків за бажанням машиніста може відтворюватись на БІЛ);
 - включення / вимикання генераторів і компресора;
 - використанні тіфона і свистка; сигналів ЕПТ («перекришу»;

- «Контроль ланцюга» і «Гальмування»);
- обмін даними по інтелектуальному інтерфейсу з бортовими пристроями САУТ і іншими бортовими системами[12].

1.2.2 Структура системи КЛУБ-У

Структурна схема КЛУБ-У (склад апаратури) визначається на стадії розробки проекту обладнання локомотива і залежить від його конструкції [6]. На рис. 1.1 приведена структурна схема апаратури КЛУБ-У для установки на локомотиви з одного кабіною. Ця ж структурна схема використовується при установці КЛУБ-У в кінцевих вагонах моторвагонного рухомого складу (МВРС). Структурна схема КЛУБ-У для локомотивів з двома кабінами приведена на рис. 1.2.

Апаратура КЛУБ-У складається з ряду окремих блоків, кожен з яких є закінченим виробом, який виконує певний набір функцій. Блоки КЛУБ-У пов'язані між собою через САХ-інтерфейс. Використання цього інтерфейсу дає можливість порівняно легко змінювати загальну структуру КЛУБУ з відповідною зміною функцій. Апаратура, встановлювана на локомотиві, включає в себе [6]:

- блок електроніки локомотивний БЄЛ-У;
- блок індикації локомотивний (загальне позначення різних модифікацій блоку БІЛ);
- блок індикації помічника машиніста БІЛ-ПОМ;
- блок комутації та реєстрації інформації БКР-У;
- блок введення локомотивний БВЛ-У;
- блок реєстрації інформації на касету з довготривалою
- незалежній електронною пам'яттю БР-У;
- викличної прилад ВП;
- рукоятки підтвердження пильності машиніста (РБ, РБС)
- і помічника машиніста (РБП);
- прийомні котушки КПУ сигналів АЛСН (АЛС- ЕН) і коробку з'єднувальну КС;

- датчики вимірювання шляху і швидкості ДПС 1 і ДПС 2;
- блок сполучення датчиків ДПС з апаратурою КЛУБ-У -БС-ДПС;
- датчики вимірювання тиску в гальмівних пристроях локомотива (ДД);
- електропневматичний клапан екстреного гальмування (ЕПК);
- блок контролю несанкціонованого відключення ЕПК ключем (КОН);
- антенно-підсилювальний пристрій (АУУ) супутникової навігаційної системи (СНС) і антену СНС (АСНС);
- антену радіоканалу (АРК);
- приймально-передавальний пристрій цифрового радіозв'язку ППУ-РС
- (Радіостанція «МОСТ») і антену радіозв'язку АРС;
- блок узгодження інтерфейсів (БСИ), який служить для взаємодії КЛУБ-У з локомотивним обладнанням і обміну даними між КЛУБ-У і іншими бортовими пристроями автоматики при відсутності можливості організації обміну даними через інтелектуальний інтерфейс;
- джерело живлення локомотивний електричний ПЛЕ;
- центральну клемну рейку (ЦКР).

Схема розміщення апаратури КЛУБ-У на локомотиві приведена на рис. 1.1.

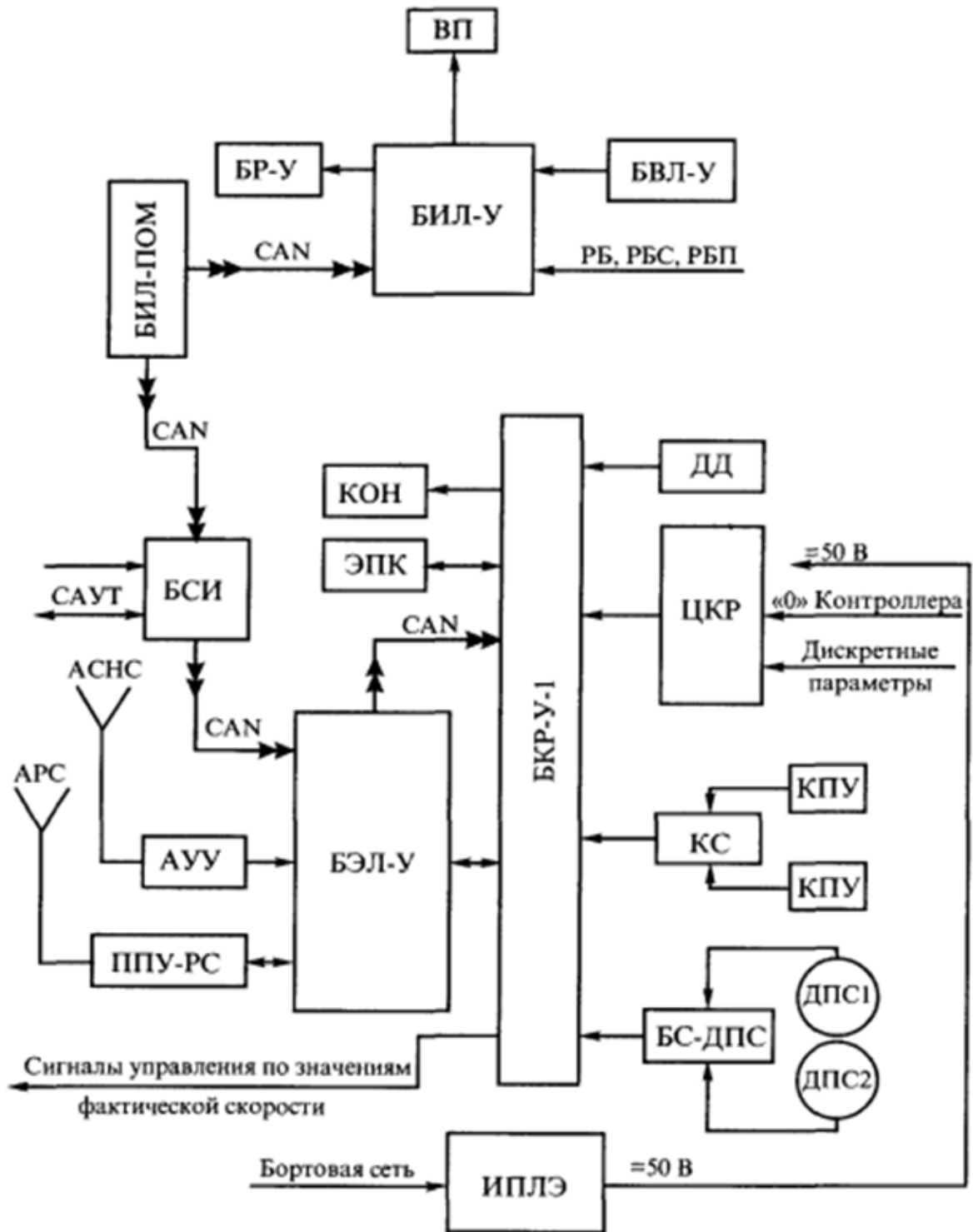


Рис. 1.1. Структурна схема апаратури КЛУБ-У для локомотива з однією кабіною

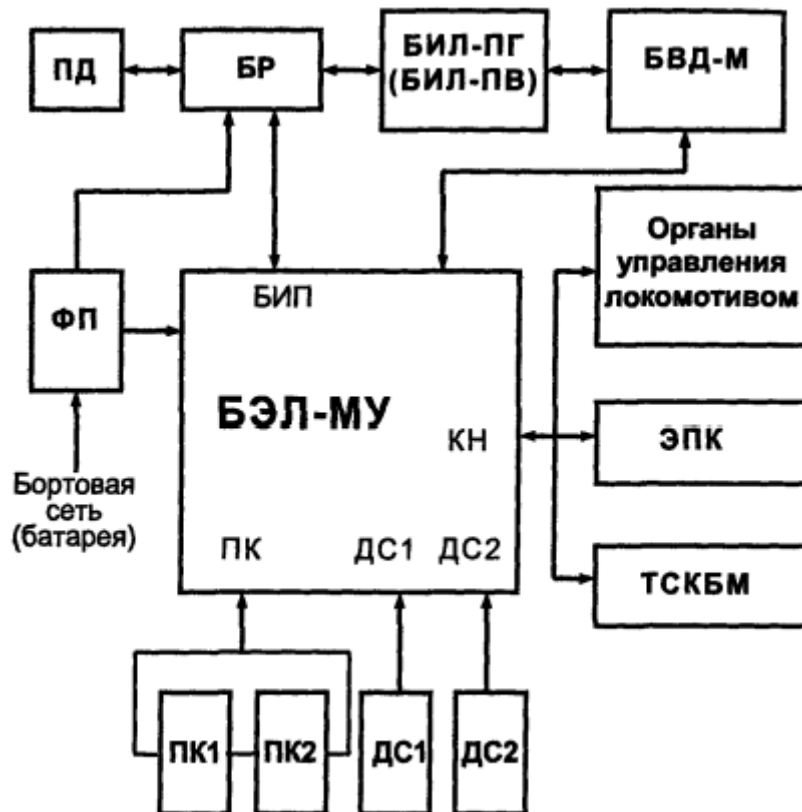
1.3 Система АЛС-МУ

Автоматична локомотивна сигналізація АЛС-МУ – це сучасна форма для підвищення безпеки руху в поїзній і маневровій роботі локомотива, а також поліпшення умов ведення поїздів. ТОВ «Трансприлад» (Хмельницька обл.) є розробником апаратури АЛС-МУ, АЛС-МП з 2000 року, яка наразі застосовується на залізницях України, країн СНД та Європи. Система АЛС побудована на мікроелектронній елементній базі, дозволяє значно зменшити габарити, енерго і матеріаломісткість апаратури, підвищити надійність роботи пристроїв, спростити процес проектування, розширити функціональні можливості, а також скоротити витрати на установку і обслуговування. Апаратура АЛС-МУ забезпечує [2]:

- роботу за принципом "гарячого" резервування;
- прийом і дешифрацію сигналів АЛСН;
- індикацію машиністу локомотива сигналів світлофора;
- контроль і індикацію параметрів руху (фактичної швидкості, пройденого шляху, добового часу);
- регулярний контроль пильності машиніста з допомогою індикації і звукової сигналізації;
- формування і індикацію допустимої швидкості руху, в залежності від конструктивних особливостей локомотива і показників локомотивного світлофора:
- контроль і індикацію тиску повітря в гальмівній магістралі локомотива;
- контроль швидкості руху і автостопне гальмування при перевищенні допустимої швидкості за показниками локомотивного світлофора;
- виключення самовільного руху локомотива (скочування);
- реєстрацію параметрів руху в електронній пам'яті касети реєстрації.

До основних переваг слід віднести такі чинники: сучасна мікропроцесорна елементна база; збільшена експлуатаційна надійність апаратури; застосовано резервування каналів обробки інформації (принцип "гарячого" резервування); збільшена перешкодозахищеність апаратури під час

прийому і обробки інформації; збільшено об'єм інформації, що передається локомотивній бригаді; збільшено контроль пильності машиніста; виключений проїзд колійних світлофорів і інших місць обмеження швидкості руху; низьке споживання струму і невеликі габаритні розміри.



ПД - перетворювач тиску; БР - блок реєстрації; БИЛ-ПГ (БИЛ-ПВ) – блок індикації локомотивний горизонтальний (вертикальний); БВД-М – блок вводу та діагностики; ФП – фільтр живлення; БЭЛ-МУ – блок електроніки локомотивний; ЭПК – електропневматичний клапан; ТСКБМ – телеметрична система контролю пильності машиніста; ПК1, ПК2 - локомотивні прийомні котушки; ДС1, ДС2- датчик шляху і швидкості

Рис 1.4. Структурна схема системи АЛС-МУ

1.4. Система Improtrain 250

Сучасна бортова система Improtrain 250, розроблена вітчизняною українською фірмою НВП «Імпульс» (м. Сєвєродонецьк) для підвищення безпеки, автоматизації управління функціями безпеки локомотивів і моторвагонного рухомого складу. Використовується на залізницях України, країн СНД та Європи [10]. Може застосовуватися на залізницях, в тому числі на швидкісних і високошвидкісних ділянках з автономною і електричною тягою

постійного і змінного струму, обладнаних пристроями автоматичної локомотивної сигналізації (АЛС), багатозначною автоматичної локомотивної сигналізації (АЛС-ЕН); на ділянках залізниць, обладнаних системою координатного регулювання руху поїздів на базі цифрового радіоканалу. Структура система наведена на схемі рис.1.5.

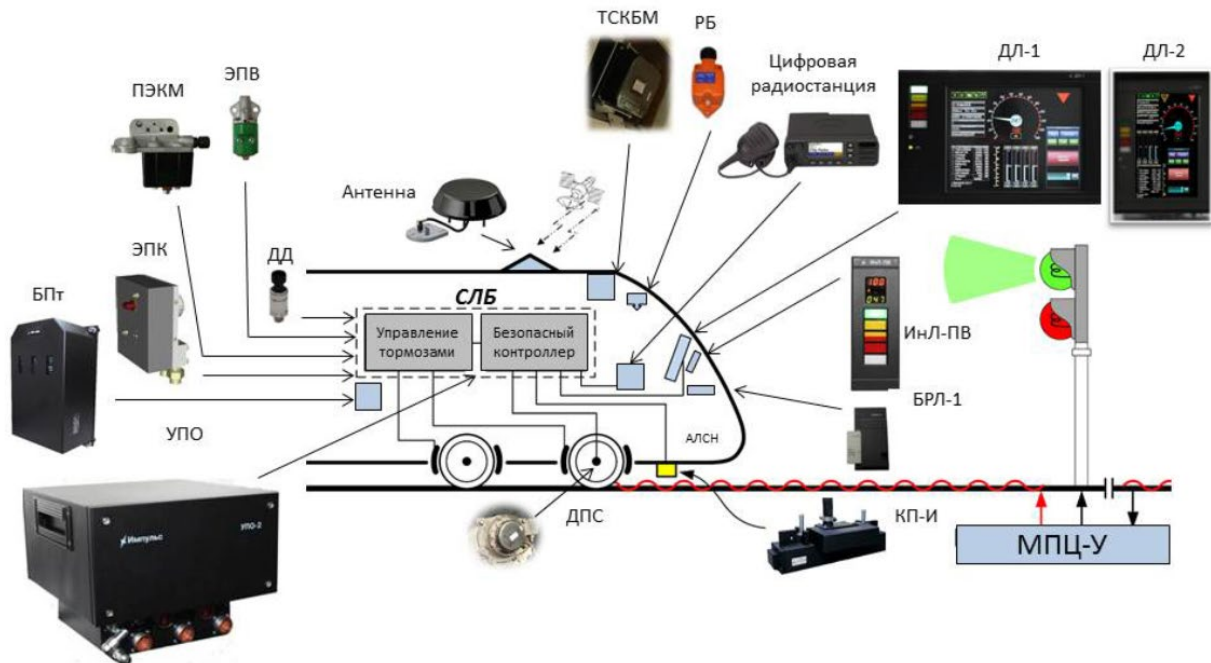


Рис 1.5 структурна схема Improtrain 250

Згідно структурної схеми локомотив оснащений антенами РК і СНС для обміну інформацією між диспетчером та локомотивом, а також вони реалізують прийом інформації зі супутника. До складу бортової апаратури Improtrain 250 входить система локомотивної безпеки (СЛБ), що включає в себе елементи керування гальмами (датчики тиску ДД, електропневматичний вентиль ЕПВ та клапан ЕПК, приставки до крану машиніста ПЭКМ), елементи контролю за допомогою безпечного контролера (цифрова радіостанція, пристрій перетворення і обробки інформації УПО, датчик шляху і швидкості ДПС, котушка прийому сигналів АЛСН КП-И, локомотивні дисплеї ДЛ-1, ДЛ-2, індикатор локомотивний помічника машиніста ИнЛ-ПВ, блок реєстрації локомотива БРЛ) та блок живлення БПт. Також у кабіні машиніста наявна рукоятка пильності РБ та телемеханічна система контролю активності машиніста ТСКБМ [10].

Система виконує такі основні функції [10] як: визначення швидкості і координат локомотива за інформацією від пристроїв супутникової навігації і датчиків шляху і швидкості; формування значення допустимої швидкості руху з використанням сигналів АЛС, АЛС-ЕН, радіоканалу, даних електронної карти; індикація необхідної інформації для машиніста і його помічника; забезпечення гальмування при перевищенні фактичної швидкості над допустимою швидкістю; виключення проїзду світлофорів із заборонними сигналами; виключення несанкціонованого руху локомотива (скочування); службове гальмування через приставку крана машиніста по команді, переданої по цифровому радіоканалу; контроль пильності машиніста; запис на знімну касету реєстрації параметрів руху локомотива; взаємодія з іншими бортовими системами локомотива за допомогою цифрових інтерфейсів (CAN, MVB, RS-485).

1.5. Європейська система управління залізничними перевезеннями ERTMS

ERTMS – комплекс єдиних стандартів, розроблених в рамках міжнародного співробітництва для залізничної автоматики, телемеханіки, зв'язку и диспетчерського контролю [4]. ERTMS покликана ліквідувати відмінності в несумісних один з одним системах сигналізації, централізації, блокування (СЦБ) європейських країн, забезпечивши тим самим безперешкодне і безпечне залізничне сполучення на європейському континенті

ERTMS складається з:

- ETCS (Європейська система управління поїздом), стандарт управління поїздом, заснований на обладнанні в кабіні, бортове пристрій, здатний контролювати рух поїздів і зупиняти його відповідно до дозволеною швидкістю на кожній ділянці лінії, поряд з розрахунками і постійний контроль максимальної швидкості поїзда. Інформація надходить від обладнання ETCS поруч з трасою. Реакція машиніста постійно контролюється, і в разі необхідності аварійні гальма будуть взяті під контроль.

- GSM-R (Глобальна система мобільного зв'язку - залізниці) - це друга система ERTMS, європейський стандарт радіозв'язку для залізничних перевезень. Заснована на технології радіозв'язку GSM, GSM-R використовує ексклюзивні смуги частот для зв'язку поїзда з центрами управління рухом і пристроями, розташованими поруч з рейкою [15].

1.5.1. Особливості системи ERTMS

При використанні традиційних систем забезпечення руху поїздів на кожній блок-ділянці, на які поділяються перегони, може перебувати не більше одного складу. В основу роботи ETCS покладена ідея безперервного контролю перевізного процесу за допомогою сукупності різних технічних засобів, завдяки чому досягається безпечне зменшення інтервалу попутного прямування, а значить збільшення пропускної здатності. Дія ETCS заснована на визначенні місцезнаходження поїзда, обчисленні відстані між складами, контроль максимально дозвільної швидкості на ділянці, розрахунку кривої гальмування (залежність швидкості від пройденого шляху), зіставленні даних про маршрут з технічними характеристиками поїзда. Прийом, обробка та передача всієї необхідної інформації здійснюється комплексом колійних і бортових пристроїв і систем ETCS. Безперервний контроль руху, пристосований до постійної зміни дорожньої обстановки, дозволяє оптимізувати трафік і знизити енерговитрати.

Залежно від застосовуваного рівня ERTMS / ETCS, підсистема колійного та лінійного обладнання [15] може складатися з:

- Євробаліз (Eurobalise);
- Лінійних електронних пристроїв (LEU);
- Радіо комунікаційної мережі;
- Радіо блок-центрів (RBC);
- Шлейфу Euroloop;
- Пристроїв радіо заповнення (Radio In-fill Unit).

Євробаліза (Eurobalise) - баліза відповідного виконання, розроблена для застосування в системі ERTMS / ETCS. Євробаліза є основним колійним пристроєм системи ERTMS. Конструктивно євробаліза виконана в плоскому

корпусі, який розміщується в міжрейковому просторі. При проходженні поїзда над євробалізою бортове обладнання локомотива випромінює високочастотний сигнал, за допомогою якого забезпечується електроживлення євробалізи.

LEU використовується як інтерфейс між євробалізою, що перемикається і лінійними пристроями, наприклад, системою автоблокування. LEU отримує дані з управління рухом поїздів і перетворює їх в повідомлення, що передаються відповідним групам баліз для подальшої ретрансляції на поїзд.

Радіо комунікаційна мережа (GSM-R) використовується для двонаправленого обміну даними між бортовими підсистемами поїзда і радіо блок центром (RBC) або пристроями радіо заповнення.

Радіо блок центр (RBC) - це централізована підсистема, що відповідає за безпеку, яка отримує інформацію від колійних датчиків, систем автоблокування і на цій основі, з урахуванням загальної поїзної обстановки, графіка руху, профілю колії та ін. Формує команди про допустиму швидкість та інтервали попутного прямування між поїздами, які передає на поїзд.

Шлейф Euroloop (європетля, Євроконтур) - підсистема ERTMS / ETCS, використовувана для безперервної передачі даних зі шляху на поїзд в період пауз між проходом євробаліз (заповнення пауз). Пристрій радіо заповнення (Radio In-fill Unit) являє собою підсистему, яка використовується для безперервної передачі даних зі шляху на поїзд.

Єврорадіо представляє собою інтероперабельну систему 1-го класу для обміну повідомленнями між бортовим та лінійним колійним обладнанням для забезпечення безпечного руху поїздів в автоматичних системах управління [4].

1.5.2. Рівні системи ERTMS

В системі ERTMS / ETCS передбачені три рівні, що дозволяють реалізувати різні експлуатаційні програми в залежності від ступеня оснащення лінії колійним обладнанням [4]. Рівні ERTMS розрізняються підсистемами передачі інформації, необхідної для управління рухом, зі шляху на поїзд.

Нульовий рівень :

При нульовому рівні наявні колійні пристрої СЦБ не включені в ETCS. Машиніст уважно стежить за сигналами і знаками. Бортова система здійснює контроль тільки дотримання швидкісного режиму для даного типу рухомого складу на пройденому їм ділянці. Даний рівень реалізації не застосуємо на міжнародних маршрутах, оскільки через те, що видимі сигнали в різних країнах відрізняються, при проходженні кордону обов'язкове зміна машиністів.

Рівень 1 ETCS (рис.1.6) :

Система ETCS першого рівня (Level 1) може бути легко накладена на існуючу національну систему автоматики і забезпечує сигналізацію у кабіні локомотива. Команди керування передаються через спеціальні колійні датчики (євробалізи), які поділяються на активні (керовані) та пасивні (некеровані). Активні балізи забезпечують передачу на локомотив показання колійних світлофорів, а пасивні балізи – інформацію про поточну координату та обмеження швидкості. На підставі отриманих даних бортовий комп'ютер ETCS розраховує допустиму швидкість руху та криву гальмування. Крім євробаліз для передачі команд на локомотив можуть використовуватись індуктивні шлейфи (EuroLoop), що забезпечує безперервну передачу даних [4].

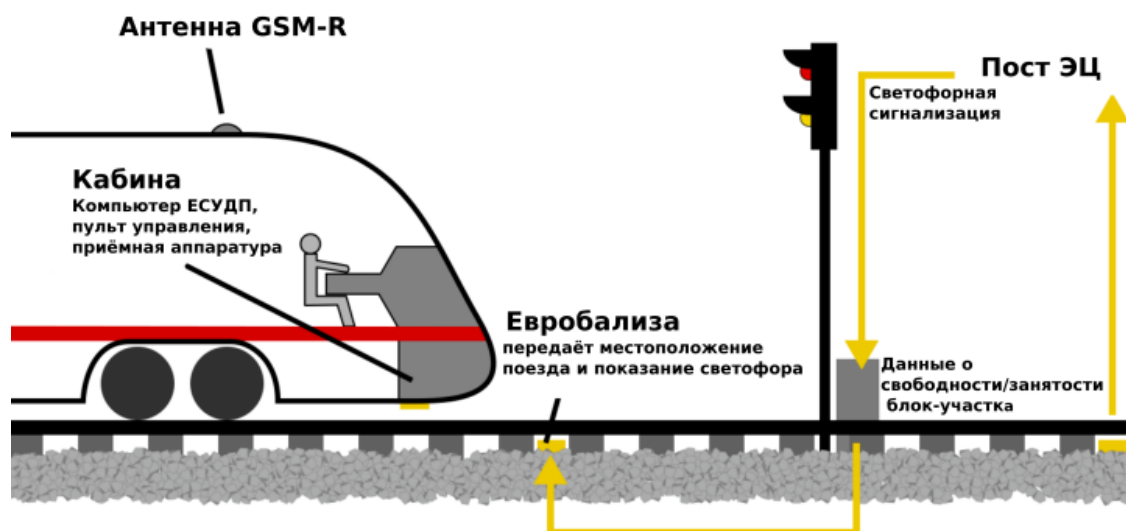


Рис.1.6 Рівень 1 ETCS

Рівень 2 ETCS (рис. 1.7):

ETCS Level 2 – це автоматизована система керування рухом поїзда із застосуванням підсистеми цифрового радіозв'язку GSM-R. Через цифровий радіоканал поїзд безперервно передає в Центр радіоблокування (RBC) дані про своє поточне місцезнаходження, а у зворотному напрямку отримує команди керування та сигналізації. На другому рівні зберігаються традиційні пристрої контролю вільності колійних ділянок (рейкові кола або системи підрахунку осей). Також застосовуються пасивні євробалізи, які забезпечують передачу на локомотив інформації про поточну координату та обмеження швидкості [4].



Рис.1.7 Рівень 2 ETCS

Рівень 3 ETCS (рис.1.8)

ETCS Level 3 представляє собою повноцінну систему керування рухом поїздів на базі радіозв'язку. На даному рівні не використовуються пристрої контролю вільності колійних ділянок. За допомогою пасивних євробаліз та пристроїв одометрії кожен поїзд визначає свою поточну координати і швидкість та через канал GSM-R передає цю інформацію у центр радіо блокування. Центр RBC безперервно відстежує кожен поїзд та розраховує мінімально можливі між поїзні відстані. Тому маршрут більше не розділяється фіксованими блок-ділянками, а розбивається на «рухомі блок-ділянки». На даному рівні обов'язковим є застосування пристроїв контролю цілісності поїзда. ETCS L3 в даний час все ще знаходиться на стадії стандартизації [4].

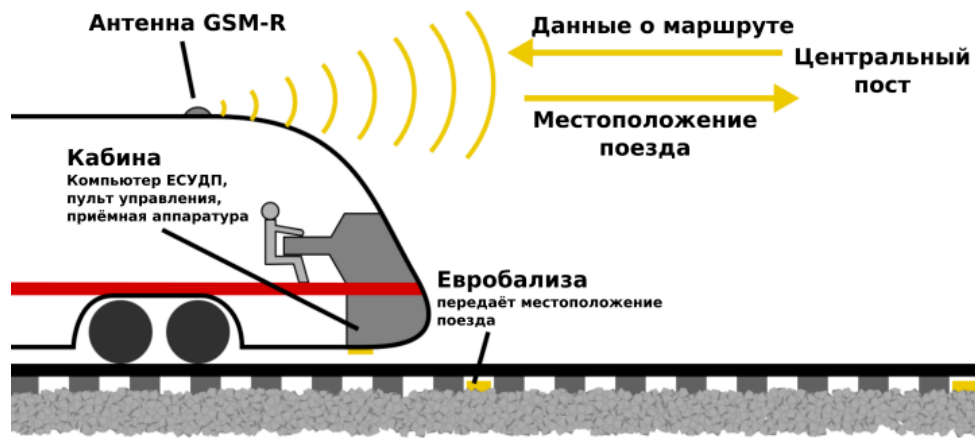


Рис.1.8 Рівень 3 ETCS

1.6 Висновки по розділу 1

Системи автоматичної локомотивної сигналізації є невід'ємним елементом загального комплексу систем забезпечення безпеки руху поїздів. Зважаючи на тенденцію до збільшення швидкостей руху поїздів, виникає необхідність модернізації систем локомотивної автоматики. Можна виділити два напрямки щодо удосконалення таких систем: застосування більш сучасної елементної бази та розширення функціональних можливостей.

В рамках даної роботи пропонується структура та алгоритм роботи сучасного багатофункціонального локомотивного пристрою забезпечення безпеки руху поїзда. Окрема увага приділяється розробці інтелектуального пристрою контролю функціонального стану та пильності машиніста.

РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА ЛОКОМОТИВНОГО ПРИСТРОЮ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕКИ РУХУ ПОЇЗДА

2.1. Призначення та функції локомотивного пристрою забезпечення безпеки руху поїзда

Існуючі локомотивні пристрої автоматичної локомотивної сигналізації АЛСН мають низьку надійність та обмежені функціональні можливості по забезпеченню безпеки руху поїзда. Для підвищення безпеки руху поїздів, розширення рівня інформативності та покращення умов праці локомотивних бригад в рамках даної роботи запропоновано мікропроцесорний локомотивний пристрій забезпечення безпеки руху поїзда, який виконує наступні функції:

- прийом з рейкових ниток та дешифрування сигналів автоматичної локомотивної сигналізації типу АЛСН та АЛС-ЕН;
- прийом по захищеному радіоканалу інформації про тимчасові обмеження швидкості та відповідальних команд (зупинка поїзда по команді поїзного диспетчера або чергового по станції, дозвіл на проїзд сигналу із забороняючим показанням);
- визначення фактичної швидкості та координати поїзда за допомогою апаратури супутникової навігації, а також по сигналам від осьових датчиків путі та швидкості;
- визначення допустимої швидкості руху з урахуванням сигналів АЛС, а також даних електронної карти;
- індикація машиністу залізничної лінійної координати, фактичної та допустимої швидкості руху, показань локомотивного світлофора, відстані до актуальної перешкоди з зазначенням швидкості його проїзду, поточного астрономічного часу;
- періодичний та однократний контроль пильності машиніста;
- реєстрація параметрів руху поїзда у касеті пам'яті.

2.2. Структура та принцип дії пристрою

Структурно мікропроцесорний локомотивний пристрій забезпечення безпеки руху поїзда зображений на рис. 2.1 має низку пристроїв вводу та виводу, а також центральний модуль обробки даних, які підключенні до центрального модуля завдяки шині CAN інтерфейсу.

CAN інтерфейс в даній схемі було вирішено зробити дубльованим. Одну шину було підключено до блоків вводу та центрального модуля, а другу шину до модулів виводу та також центрального модуля. Завдяки такому способу підключення ми підвищуємо функціональність та надійність пристрою.

Основні блоки вводу та виводу з яких складається пристрій:

- Датчик путі та швидкості
- Блок супутникової навігації
- Блок приймача АЛС
- Блок радіоканалу
- Ручки РБ та РБС
- Матрична клавіатура
- Локомотивний світлофор
- Блок звукової сигналізації
- Касета реєстрації
- Блок індикації локомотивний
- Електропневматичний клапан (ЕПК)
- Центральний модуль
- Пристрій контролю пильності машиніста

Датчик путі та швидкості (ДПС) призначений для передачі інформації про пройдений шлях, поточну швидкість руху до модуля центральної обробки.

Працює ДПС завдяки герконовому контакту або оптичному принципу дії. В результаті обороту колеса ДПС виробляє поодинокі імпульси які підраховуються в центральному модулі та завдяки чому визначається поточна швидкість.

Блок супутникової навігації представляє собою комплексний пристрій електронно-технічних засобів, який складається з блоків прийому сигналу GPS

й ГЛОНАСС. Блок призначений для визначення місцезнаходження (географічних координат) астрономічного часу, швидкості, висот, напрямку руху і т. д. Основне призначення пристрою – це забезпечення високої інформативності машиніста локомотива.

Блок приймача АЛС призначений для прийому дешифрації та передачі інформації в центральний модуль обробки інформації, та подальшого виведення її на локомотивному світлофорі.

Модуль радіоканалу призначений для забезпечення радіозв'язку між локомотивом та станцією (пунктом управління) по цифровому радіоканалу. Блок РК взаємодіє з центральним модулем за допомогою CAN зв'язку.

Основна задача блока РК – це передача інформації про: стан локомотива, допустиму швидкість на певній ділянці маршруту, передача команд на зупинку локомотива або проїзд його на заборонений вогонь світлофора.

Модуль клавіатури призначений для вводу початкової інформації на початку маршруту (номер поїзда, табельний номер машиніста, кількість вагонів, маса поїзда та ін.).

Ручки РБ та РБС призначені для перевірки пильності машиніста. Ручки РБ та РБС напряму підключені до центрального блоку обробки інформації.

Локомотивний світлофор встановлений в кабіні машиніста призначений для дублювання показань напільних світлофорів, дані які він зображує отримані від блока приймача АЛС.

- **Зелений вогонь** — дозволяється рух зі встановленою швидкістю. Попереду вільні два або більше блок-ділянок.
- **Жовтий вогонь** — дозволяється прямувати зі зменшеною швидкістю. Попереду вільна одна блок-ділянка.
- **Жовтий вогонь з червоним** — дозволяється прямувати з готовністю зупинитися на блок-ділянці. Наступна блок-ділянка зайнята. У випадку в'їзду локомотива на зайняту блок-ділянку на локомотивному світлофорі з'явиться червоний вогонь.
- **Білий вогонь** — вказує, що локомотивні пристрої включені, але сигнали зі шляху на локомотив не передаються.

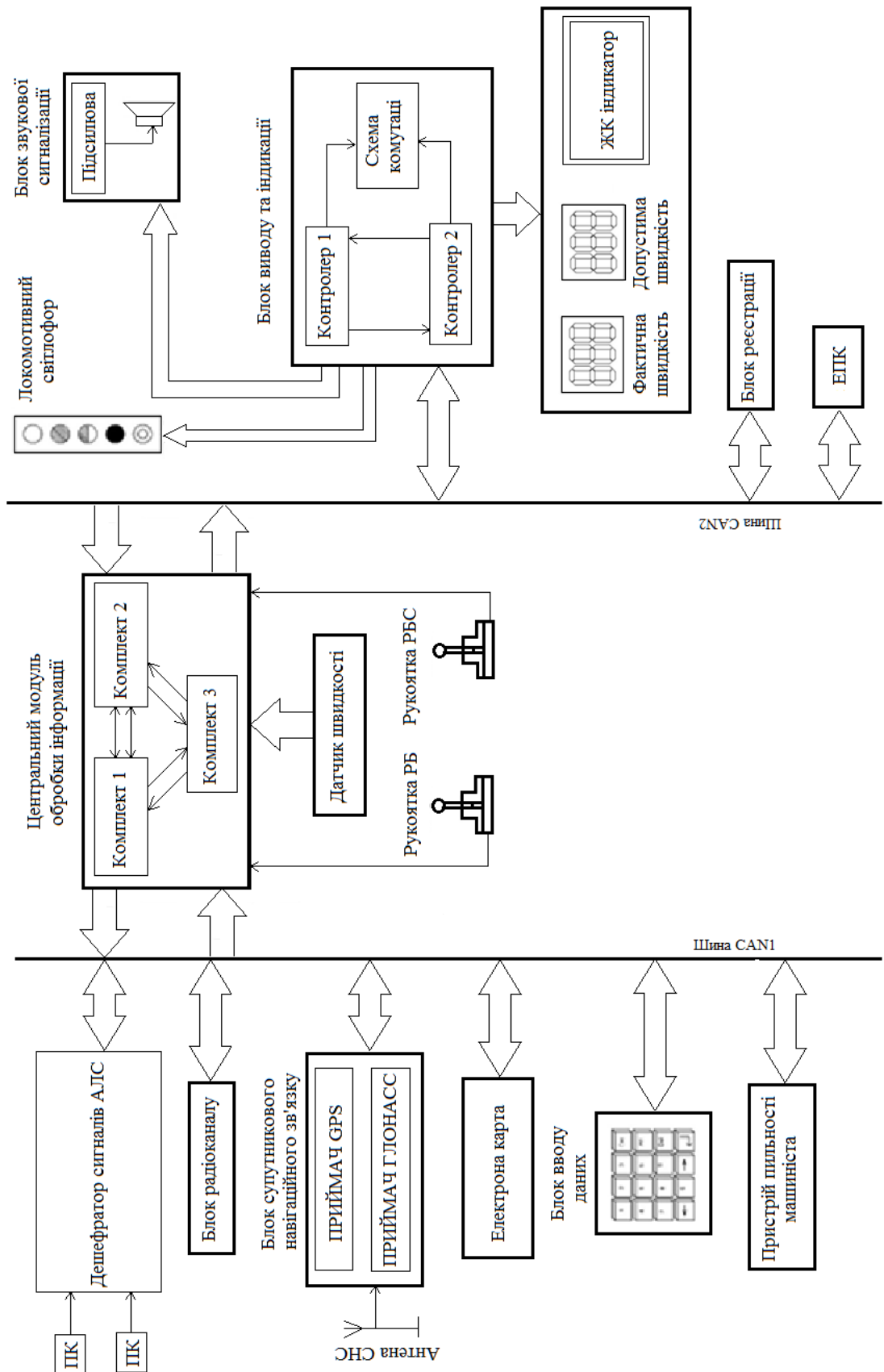


Рис. 2.1. Структурна схема локомотивного пристрою забезпечення безпеки руху поїзда

- **Жовтий вогонь з червоним** — дозволяється прямувати з готовністю зупинитися на блок-ділянці. Наступна блок-ділянка зайнята. У випадку в'їзду локомотива на зайняту блок-ділянку на локомотивному світлофорі з'явиться червоний вогонь.
- **Білий вогонь** — вказує, що локомотивні пристрої включені, але сигнали зі шляху на локомотив не передаються.

Блок електронної карти призначений для обробки даних географічних координат та перетворення їх в лінійні для подальшого виводу їх для машиніста. Блок ЕК складається з енергонезалежної пам'яті та контролера для обробки даних. Для зв'язку ЕК з центральним модулем використовується CAN інтерфейс.

Блок електронної карти поєднує в собі такі основні функції:

- прийом даних від блока супутникової навігації.
- збереження даних маршруту.
- приймання та обробка даних переданих по радіоканалу від диспетчера, про тимчасове обмеження швидкості.
- виведення даних про місцезнаходження станцій на маршруті.
- обмін даними та виведення результатів тестування ЕК через CAN інтерфейс.

Блок індикації локомотивний основною своєю задачею ставить інформування машиніста та помічника машиніста про параметри фактичної швидкості, значення допустимої швидкості, часу, поточної лінійної координати, стан апаратури, вироблення звукового та світлового сигналу увага, приймання сигналу від рукоятки пильності, вивід та запис на касету реєстрації локомотивних та поїзних характеристик, основні показання що до маршруту а також показання локомотивного світлофора.

Центральний блок обробки інформації призначений для виконання основної логіки пристрою й обробки даних які надходять з всіх блоків вводу. Після обробки отриманої інформації центральний модуль мажоритарним методом передає команди до блоку індикації, радіоканалу, касети реєстрації та

ін. Построєний блок центральної обробки інформації на базі 3х взаємно залежних один від одного комплектів.

Пристрій контролю пильності призначений для контролю стану машиніста, тобто показує рівень бадьорості машиніста по умовній шкалі у вигляді світлодіодної лінійки, яка змінюється в залежності від стану машиніста.

Підключення зовнішніх пристроїв здебільшого виконано через CAN інтерфейс, окрім рукояток пильності РБ, РБС. Ці елементи були підключені напряму оскільки в цих вузлах не має сенсу використовувати додаткові трансмітери та мікроконтролери.

2.3. Алгоритм роботи локомотивного пристрою забезпечення безпеки руху поїзда

Насамперед початок роботи локомотивного мікропроцесорного пристрою забезпечення безпеки руху поїзда починається з ініціалізації кожного з 3х центральних модулів. Після успішної ініціалізації починається їхнє тестування завдяки спеціальним тестовим програмам. Тестування проводиться над кожним з 3х модулів. Якщо справно працюють всі 3 комплекти, то система переходить в мажоритарний режим роботи з 3ма комплектами. У разі несправності одного з 3х комплектів система повідомляє про це в блок індикації та переходить в режим роботи коли працюють 2 з 2х комплектів. У випадку ж непрацездатності 2х комплектів система передає інформацію в блок індикації “Помилка тестування”. В свою чергу блок індикації реєструє помилку на касету реєстрації після чого система починає повторне тестування. Коли центральні модулі готові до роботи вони передають сигнал про початок роботи радіоканалу. Радіоканал, в свою чергу, відправляє тестові пакети повідомлень на найближчу станцію для перевірки його працездатності.

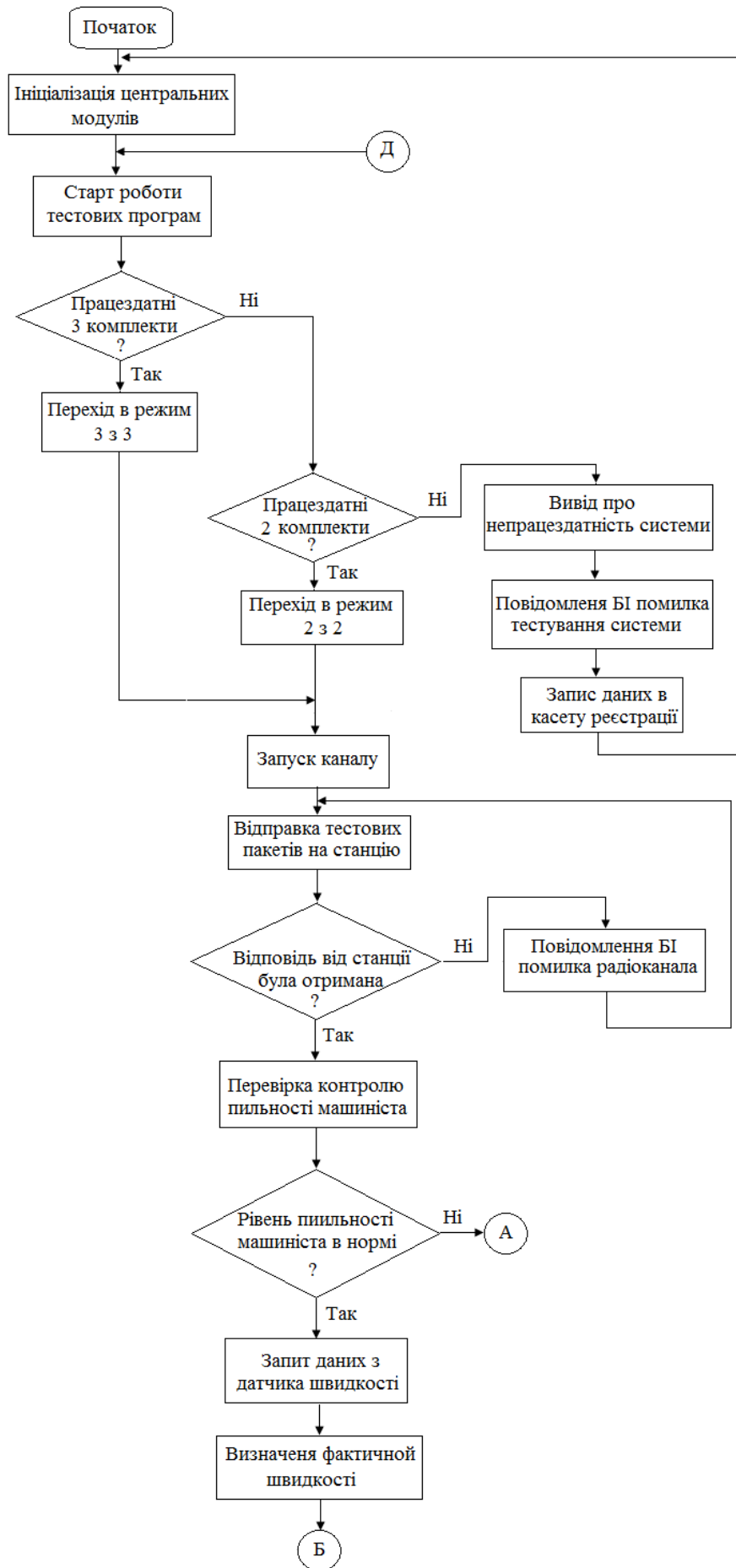
Якщо ж відповіді від станції не було отримано то система видає на блок індикації повідомлення “Помилка роботи радіоканалу”, й продовжує працювати й паралельно опитувати радіоканал до виявлення відповіді.

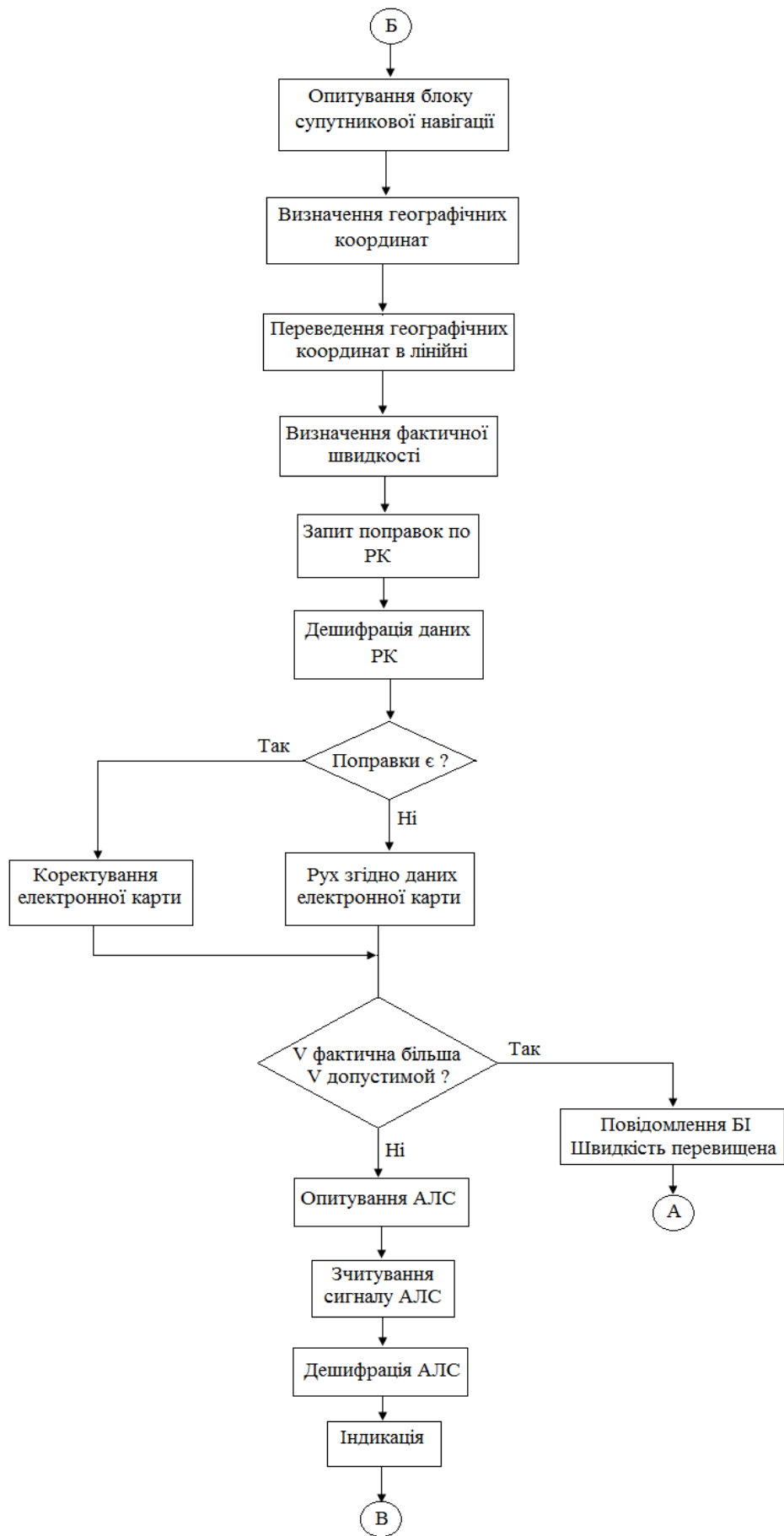
Після перевірки радіоканалу йде перевірка пильності машиніста, якщо рівень пильності машиніста не в нормі подається свисток ЕПК, якщо рівень

пильності в нормі тоді починається зчитування даних про поточну швидкість з датчика путі та швидкості (ДПС). Отримані данні на ряду з даними швидкості від блоку супутникової навігації будуть використовуватись для завдання швидкісного режиму.

На наступному етапі роботи системи є опитування блоку супутникової навігації. Блок індикації надає визначені географічні координати, після цього система переводить їх в лінійні. Паралельно всьому за супутниками визначається поточна швидкість локомотива. Після визначення швидкості йде запит до радіоканалу. Після прийняття й дешифрації даних йде перевірка на внесення правок до електронної карти. У разі не виявлення правок йде перевірка швидкісного режиму згідно даних які знаходяться в електронній карті. Якщо ж швидкість перевищує допустиму то на блоці індикації виводиться повідомлення “Увага” та свисток ЕПК, починається відлік до бти секунд. У разі не опущення рукоятки пильності вмикається автостопна зупинка поїзда й запис даних на касету реєстрації.

Якщо ж швидкість перевищує допустиму тоді посилається запит до системи АЛС. У разі справності системи АЛС починається зчитування та дешифрація сигналу. Після отримання та визначення коду йде перевірка швидкісного режиму зрівнюється поточна й допустима швидкості. У разі перевищення швидкості йде подача сигналу “УВАГА” на блоці індикації. Після чого, в залежності від типу коду, починається відлік часу та перевірка на факт опущення рукоятки пильності. Якщо рукоятка не опущена то подається свисток ЕПК та початок відрахування 6 секунд, і тоді, у разі не опущення ручки пильності, починається екстренна зупинка локомотиву й запис характеристик на касету реєстрації.





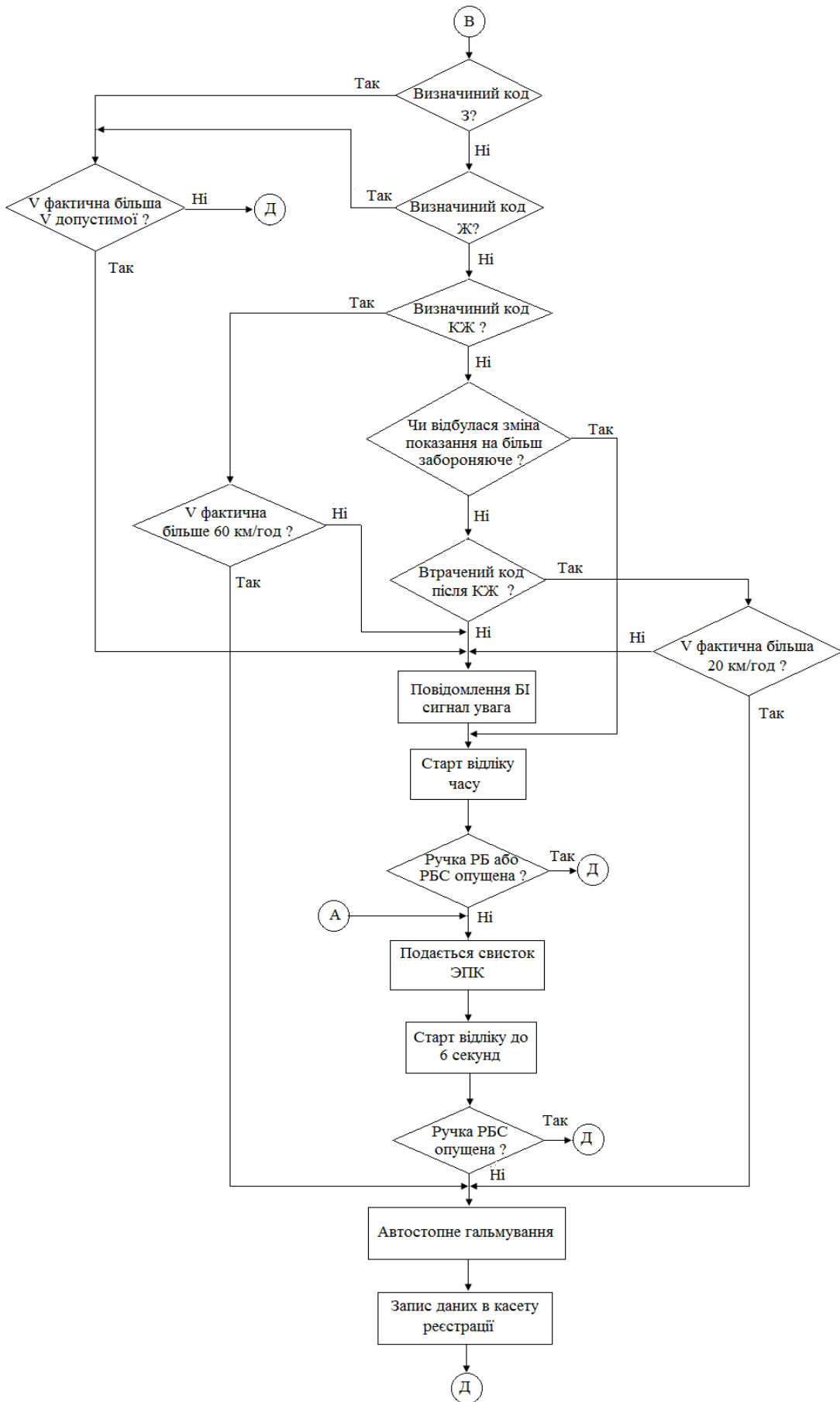


Рис.2.2. Алгоритм роботи локомотивного пристрою безпеки

2.4. Розробка датчика шляху та швидкості

Важливим елементом системи локомотивної безпеки є датчик швидкості, який використовується в тому числі для визначення поточної швидкості поїзда та відстані, що була пройдена поїздом за певний час, передачі отриманої інформації до модуля центральної обробки.

В рамках даної роботи був розроблений датчик швидкості, принципова схема якого показана на рис. 2.3. Датчик складається з наступних частин:

1. DD1 – мікроконтролер PIC18F2682.
2. DD2 – тригер Шмідта SN74ACT14.
3. DD3 – CAN передавач PCA82C250.
4. DA1 - стабілізатор напруги 12 В 78L05.

Принцип дії оптичного датчика шляху та швидкості заснований на визначенні частоти світлових імпульсів від лазерного світлодіода VD1 (ADL-63054TL), що прямо пропорційні швидкості руху поїзда. Ротор датчика приводиться в обертання від шийки осі колісної пари. Розглянемо першу частину схеми першого комплекту.

Схема включення лазерного діода складається з двох основних частин: схеми стабілізації струму для забезпечення постійної стабільної роботи лазерного діода та схеми керування живленням діода. Схема стабілізації струму побудована на базі транзистора КТ3107Е.

Для стабілізації струму використовується негативний зворотній зв'язок за струмом, завдяки підключенню резистора R1 в емітерне коло транзистора. Стабілітрон КС156А формує стабільну напругу на базі транзистора, завдяки своїй нелінійній вольт-амперній характеристиці. Схема керування живленням лазерного діода побудована на базі транзистора КТ3102Е. На базу транзистора КТ3102Е з виходу 4 PIC-контролера поступає керуючий сигнал, що закриває або відкриває транзистор, який у свою чергу вимикає живлення у лазерного діода.

Розглянемо схему включення фотодіода на прикладі другої частини схеми. Схема включення фотодіода ФД320 складається з підсилювача імпульсів до ТТЛ стандарту на базі транзисторів КТ3107Е та КТ3102Е. При

надходженні на фотодіод ФД320 сигналу транзистор КТ3107Е запирається, на базі транзистора КТ3102Е відсутній позитивний заряд, тому КТ3102Е закривається. Логічний сигнал 5 В поступає на вихід 1АТ.

Надалі через отвори на пластині пучок від лазерного світлодіоду VD1 (ADL-63054TL) поступає на вхід фотодіоду VD2 (ФД320), де підсилюється до опорної напруги та поступає до тригера Шмідта. Тригер Шмідта DD2 (SN74ACT14) формує прямокутні імпульси ТТЛ-рівня з малою тривалістю фронту та зрізу. За кожен оборот датчик видає певну кількість імпульсів. Таким чином, число імпульсів, вироблених датчиком, пропорційне пройденому шляху, а їх частота - швидкості руху. Коефіцієнт пропорційності визначається діаметром колеса. Керування лазерним діодом дозволяє провести повну діагностику датчика. Це дає нам змогу передати відому кількість імпульсів на вхід та проконтролювати вихідні значення пристрою.

Датчик шляху та швидкості має два набори світлодіодів та фотодіодів. Завдяки цьому система проводить самодіагностування та визначає справність кожної з оптичних груп.

На входи 2, 3 мікроконтролера PIC18F2682 (1YT, 2YT) подається сигнал логічної одиниці.

Мікроконтролер PIC18F2682 приймає інформацію від тригера Шмідта, розраховує швидкість руху та шлях, що був пройдений, зберігає цю інформацію для передачі до бортового комп'ютера через CAN інтерфейс. Представляє 8-разрядний пристрій, що призначений для використання в якості місцевого процесору. Підтримує такі інтерфейси передачі даних, як SPI, I²C, CAN-інтерфейс.

На вхід 1 (MLCR) підключене коло скидання, в результаті роботи якого на вхід 1 подається короткочасний імпульс - логічний «0». Мікроконтролер PIC18F2682 перезавантажується.

Для вибору робочої частоти контролера до входів 9, 10 (OSC1, OSC2) під'єднаний кварцовий резонатор.

Порахована швидкість руху поїзда обробляється та передається через шини даних CANRX, CANTX для передачі інформації до модуля центральної обробки через CAN-інтерфейс. CAN передавач PCA82C250 використовується для організації передачі інформації через CAN-інтерфейс.

Отримана інформація від мікроконтролера через CAN-інтерфейс приймається та передається до модуля центральної обробки згідно CAN стандарту передачі інформації. Напруга живлення +5 В подається на вхід 3.

Від джерела живлення через роз'єм XT1 подається стабілізована напруга 5 В та 15 В, яка використовується для живлення мікроконтролера PIC18F2682, CAN передавача PCA82C250, тригера Шмідта SN74ACT14 та елементів оптичних каналів.

2.5. Висновки по розділу 2

В даному розділу була запропонована структура та алгоритм роботи локомотивного пристрою забезпечення безпеки руху поїзда. До його складу входять такі елементи як датчик путі та швидкості ДПС, рукоятки РБ та РБС, електропневматичний клапан (ЕПК), блок прийому сигналів АЛС та АЛС-ЕН, інформаційний модуль, навігаційний модуль, касету реєстрації та пристрій цифрового радіозв'язку.

Датчик путі та швидкості (ДПС) призначений для передачі інформації про пройдений шлях, поточну швидкість руху до модуля центральної обробки. Ручки РБ та РБС призначені для перевірки пильності машиніста. Блок приймача АЛС призначений для прийому дешифрації та передачі інформації в центральний модуль обробки інформації, та подальшого виведення її на локомотивному світлофорі.

Для забезпечення високої надійності та функціональної безпеки пристрою запропоновано використовувати структурне та інформаційне резервування. Модуль центральної обробки будується за мажоритарною структурою «два з трьох», а блок індикації дублюється. Також передбачається застосування спеціальних програм діагностування та самотестування апаратури.

Розділ 3. ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ МЕТОДІВ КОНТРОЛЮ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО СТАНУ ТА ПИЛЬНОСТІ МАШИНІСТА

3.1 Особливості роботи машиніста

Локомотивна бригада працює в умовах, коли короточасні періоди інтенсивної роботи по керуванню локомотивом змінюються довготривалими періодами монотонних неактивних дій. Такий ритм роботи вимагає від машиніста постійної уваги та пильності. Для забезпечення безпеки руху, машиністу локомотива потрібно, не відволікаючись, стежити за коліями, світлофорами, стрілочними переводами та переїздами. Це нелегко робити вдень, і ще важче робити вночі.

На швидкісних та високошвидкісних залізничних лініях проблема підтримки працездатності та пильності машиніста є особливо актуальною, так як при збільшенні швидкостей руху поїзда зменшується час, за який локомотивна бригада повинна зреагувати на зміну поїзної ситуації. Як показує досвід, значна кількість аварій відбувається саме через помилки машиніста. Наприклад, 24 липня 2013 року в Іспанії на швидкісній магістралі біля залізничної станції Сантьяго-де-Компостела відбулась залізнична катастрофа, в результаті якої загинули 78 людей та 140 отримали поранення. Причиною катастрофи стала помилка машиніста: значне перевищення швидкості руху, що призвело до сходу поїзда. Таким чином, від своєчасних та адекватних дій машиніста багато в чому залежить безпека руху поїзда [8].

Робота машиніста на кожному кроці специфічна. Графік роботи машиністів сформований на місяць вперед. Загалом норма машиніста складає 160 годин на місяць. Машиніст поїзда не може мати проблем зі здоров'ям. Перед кожним рейсом проходить ретельний медичний огляд.

При цих усіх мінусах машиніст практично весь час знаходиться в одному положенні і навіть не має можливості розім'ятися. Це негативно позначається на загальному стані людини. Багатьох напружує необхідність постійно перебувати в замкнутому просторі. Відсутність спілкування у машиністів, які працюють поодиноці, іноді негативно позначається на психіці, а також більше

клонить у сон під час нічних змін. Головний мінус для працівників - це недостача пильності під час роботи, в цей час люди роблять більше помилок і недоліків, ніж в денний час, і це легко доводить статистика: лікарі частіше приймають неправильні рішення саме по ночах, водії потрапляють в аварії, а машиністи поїздів саме вночі, більшою мірою, ризикують заснути або зробити помилку під час рейсу.

Робота машиніста потребує постійної пильності, концентрації та правильних дій під час екстрених подій, але умови, які надаються їм для роботи заважають у цьому. Тому що велика тривалість маршрутів, нічні зміни, монотонна робота наодинці – усе це спонукає до втрати робочої уважності. Також через те, що робота дуже важлива і відповідальна, у машиністів постійна емоційна напруга.

Всі вище перелічені особливості роботи машиніста можна охарактеризувати як:

- велика тривалість маршрутів;
- часто виконуються нічні зміни;
- короткочасні періоди інтенсивної роботи змінюються довгими періодами монотонної роботи;
- потрібна постійна пильність;
- від правильних та своєчасних дій машиніста залежить безпека руху поїзда.

3.2 Різновиди методів контролю функціонального стану та пильності

На сьогоднішній день існують різноманітні методи та пристрої контролю функціонального стану водія транспортного засобу.

Методи контролю функціонального стану водія можна розділити на дві основні групи: контактні та безконтактні. Контактні включають використання технічних засобів контролю, що контактують з людиною. Безконтактні передбачає дистанційний контроль пильності водія.

До контактних методів відносяться застосування акселерометра, аналіз серцевої активності, електроенцефалографія, вимірювання електродермальної активності.

До безконтактних відносять методи, які передбачають контроль положення тіла, руху голови та очей, аналіз моргань за допомогою засобів відеоспостереження [8].

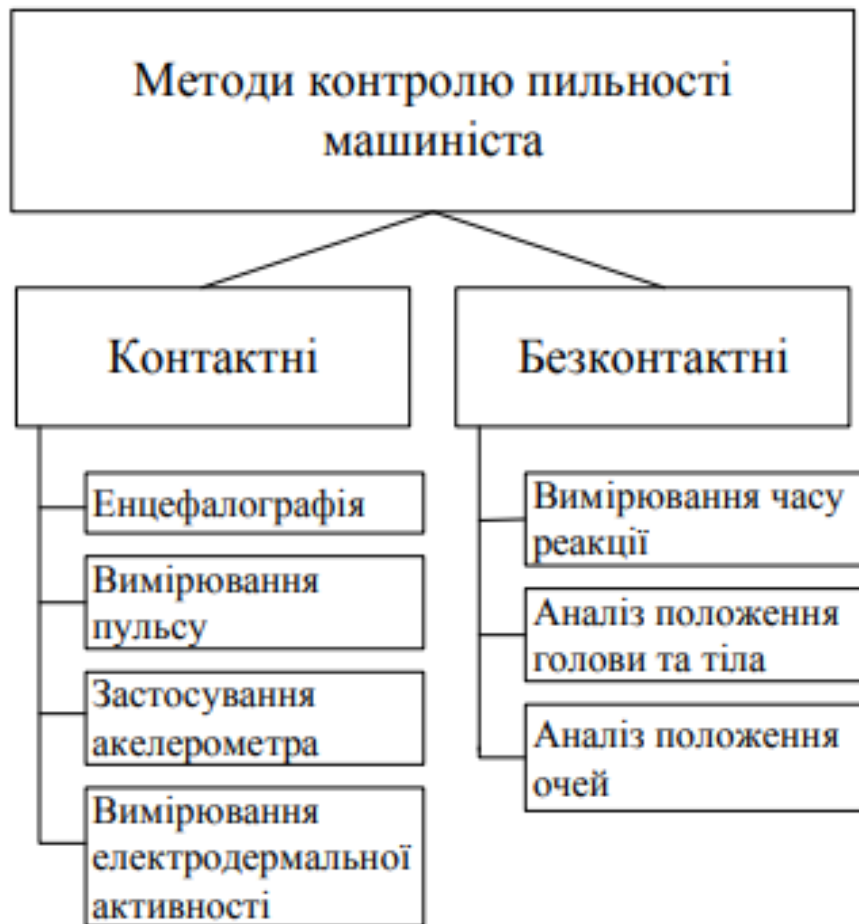


Рис 3.1. Класифікація методів контролю пильності машиніста

3.3 Безконтактні методи контролю

3.3.1. Контроль пильності в системі АЛСН

Класична система контролю пильності та екстреного гальмування, що входить до складу локомотивного дешифратора АЛСН, діє наступним чином. У кабіні встановлено електропневматичний клапан автостопу ЕПК-150. При нормальній роботі АЛСН подає живлення з його електромагніт. При необхідності перевірити пильність машиніста живлення знімається, з камери витримки часу ЕПК починає через спеціальний свисток виходити повітря.

Свисток є сигналом перевірки пильності. Щоб припинити свисток, машиніст повинен натиснути ручку пильності РБ, при цьому відновлюється живлення електромагніту ЕПК, камера витримки часу знову наповнюється повітрям. Як тільки з камери витримки часу вийде повітря, на що потрібно 6-8 секунд, тиск цього повітря вже не може утримати зривний клапан ЕПК — зривний клапан відкривається, випускаючи повітря з гальмівної магістралі, що викликає екстрене гальмування. Безпосередньо перед початком автостопного гальмування розмикається контакт ланцюга живлення електромагніту ЕПК і за натисканні РБ живлення ЕПК не відновлюється.[1]



Рис 3.2 Клапан автостопа ЕПК-150

3.3.2. Система Driver Fatigue Monitor

Це прилад, який аналізує дані, які отримуються з відеокамери, існує методика визначення положення голови людини, що використовує дані, які отримуються з камери. Суть даного пристрою полягає в тому, що він робить отримані зображення у сірих відтінках, аналізуючи їх. В першу чергу із одного зображення від заднього фону відділяється обличчя людини за спеціальним алгоритмом, а потім застосовується метод проєкцій. На місці, де знаходяться очі, ніс та рот помічається згущення точок, а на гістограмі – максимуми (рис.3.3). Відповідно, знаходяться максимуми гістограм і порівнюється їх

положення зі стан. При певному відхиленні положення очей та голови від норми спрацьовує звукова сигналізація.(рис.3.4) [8].



Рис. 3.3. Обчислення гістограми

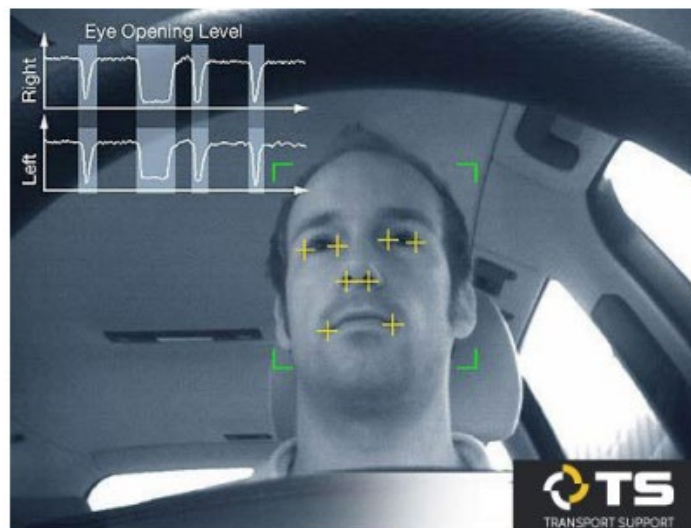


Рис. 3.4. Ідентифікація положення очей та
ГОЛОВИ

3.4 Контактні методи контролю

3.4.1. Система Sleep Alert

Sleep Alert (рис 3.5) це система контролю пильності водія транспортного засобу, в якій використовується спеціальна кепка з сенсорним датчиком, кліпса і вібробраслет. За допомогою нейрокепки досліджуються активність головного мозку, а також частота та закономірність моргань Система оснащена лобовим

електродом, який отримує дані Електроенцефалографії (ЕЕГ) та Електроміографії (ЕМГ).

На основі ЕМГ даних розпізнається частота та закономірність моргань. На основі алгоритму аналізу за цими даними робиться висновок про накопичення монотонної, втоми користувача. Якщо стомлення стає критичним і може призвести до втрати контролю та засинання, система сигналізує за допомогою звукового сигналу службового модуля кепки та вібрації браслета.

На основі ЕЕГ даних розпізнаються стани розсіяності, втоми, накопичення монотонної, втрати зібраності, концентрації на зовнішніх процесах. Коли система розпізнає такі стани, як критичні та (або) наближення до засинання, відбувається повідомлення користувача звуковим сигналом службового модуля кепки і вібрацією браслета [13].



Рис 3.5. Система Sleep Alert

3.4.2. Фітнес-браслети

Зараз велику популярність набувають нові пристрої - фітнес-браслети, з їх допомогою людина зможе контролювати свою активність, кількість кроків, яку він пройшов за день, та фази сну у спеціальному додатку. Елементом таких браслетів є чутливий акселерометр, який дозволяє вимірювати прискорення

пульсу. Його дія полягає у перетворенні переміщень в електричний сигнал. Зазвичай у фітнес-браслетах встановлені п'єзоелектричні чи ємнісні акселерометри. Візьмемо в якості прикладу, ємнісний акселерометр, який вважають більш перевіреним і надійним у своїй роботі та показниках. Цей датчик прискорень складається, як мінімум, з двох пластин: стаціонарної, яка з'єднується з корпусом, і тієї, що вільно переміщується в середину його корпусу. До останньої приєднується інерційна маса. Разом ці пластини створюють конденсатор, ємність якого залежить від відстані d між ними, отже і від прискорення руху, що відчувається їх датчиком. На рис. 3.6. а зображено поперечний переріз ємнісного акселерометра, а на рис. 3.6. б – вид зверху на інерційну масу, підтримувану чотирма кремнієвими пружинами [5].

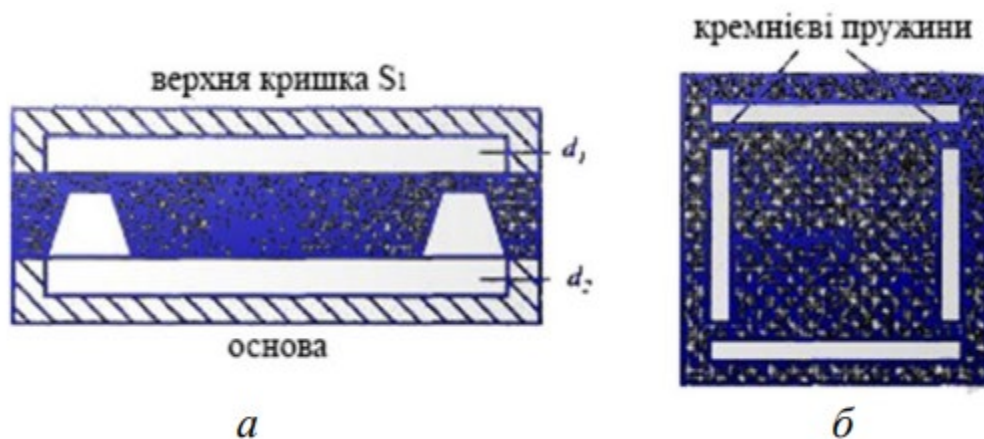


Рис. 3.6. Ємнісний акселерометр: а – поперечний переріз; б – вид зверху на інерційну масу

3.4.3.Телемеханічна система контролю пильності машиніста (ТСКБМ)

Призначена для безперервного контролю працездатності машиніста з електричного опору шкіри зап'ястя. Під час визначення зниження працездатності машиніста ТСКБМ проводить перевірку його пильності. До складу системи ТСКБМ (рис 3.2) входять:

- частина, що носитья (ТСКБМ-Н) — носитья на зап'ясті руки машиніста, виконана у вигляді електронного годинника;

- приймач сигналів (ТСКБМ-П) - має індикатори прийому, рівня працездатності машиніста (у вигляді лінійки світлодіодів) та перевірки пильності;

- контролер системи (ТСКБМ-К).

Несуча частота каналу зв'язку частини з приймачем — 1700 МГц, дальність зв'язку — не менше 2 м. Маса частини з ремінцем — 80 г.

В ТСКБМ застосовується принципи електродермальної активності (ЕДА). Цей термін означає електричну активність шкіри на долонях чи пальцях рук [15]. Саме ці частини тіла багаті на особливий вид потових залоз під назвою екринні. Такі залози можна представити як набір змінних резисторів, що з'єднані паралельно між собою. В залежності від ступеня активації нервової системи на поверхню шкіри підіймається та чи інша кількість поту, що визначається кількістю активованих потових залоз. Чим вищий рівень поту, тим нижчий опір такого змінного резистора. На рис. 3.7. наведена часова залежність опору шкірного покриву людини, де R_A – базовий опір, відносно якого реєструється імпульс ЕДА, dR_A – приріст опору за час наростання імпульсу ЕДА, t_1 – тривалість наростання імпульсу, t_2 – тривалість зменшення імпульсу, t_3 – тривалість імпульсу, T – період імпульсів. Припустимо, що має місце якийсь зовнішній фізіологічний подразник. В цей час у шкірі долонь людини виникає електрична активність, яка на графіку відображається як різке зменшення опору, що з часом збільшується до базового значення. У людини, яка засинає, період імпульсів ЕДА збільшується. Таким чином, даний параметр можна використовувати для діагностування фізіологічного стану та активності людини [8].

ТСКБМ призначена для роботи із системами АЛСН, КЛУБ, КЛУБ-У.

Функціональна схема системи ТСКБМ наведена на рис.3.9. При включеній ТСКБМ періодична перевірка пильності за будь-якого показання АЛС скасовується, одноразові перевірки пильності продовжують виконуватися. Рівень працездатності машиніста відображається лінією світлодіодів жовтого кольору. При зниженні працездатності довжина лінії лінії, що світиться, коротшає. У випадку, якщо буде визначено зниження працездатності нижче за

допустимий рівень, всі світлодіоди жовтого кольору згаснуть, загориться індикатор перевірки пильності червоного кольору і буде проведена перевірка пильності машиніста. Для цього при роботі з АЛСН розривається ланцюг живлення електромагнітного клапана автостопу (ЕПК), при роботі з КЛУБ (КЛУБ-У) - подається сигнал про необхідність перевірки пильності в цю систему.[7]

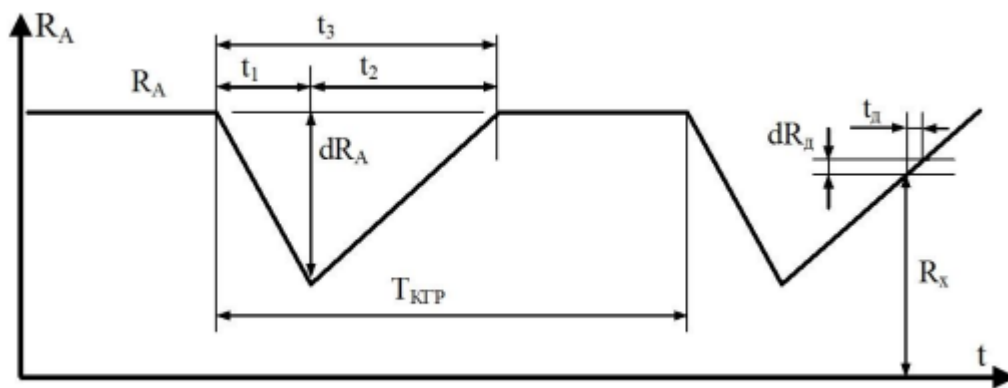


Рис. 3.7. Сигнал електродермальної активності

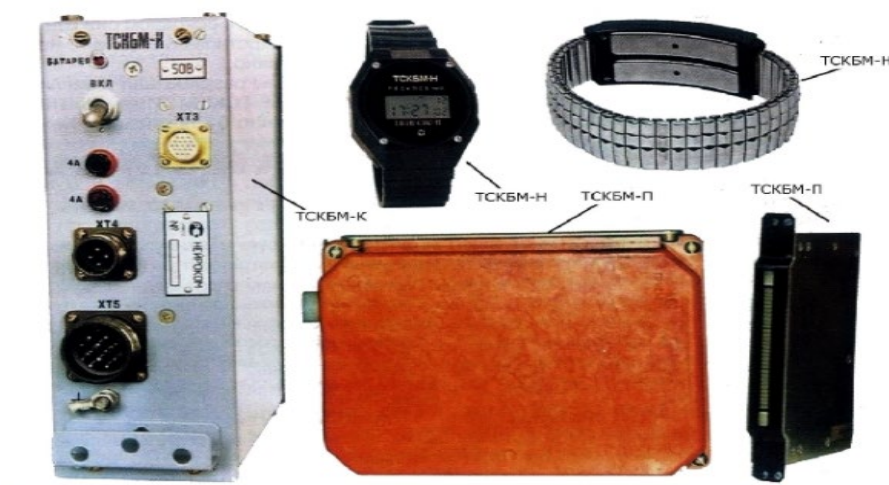


Рис 3.8. Склад системи ТСКБМ

Для підтвердження пильності машиніст повинен натиснути верхню ручку пильності РБС. Якщо після натискання рукоятки пильності рівень працездатності машиніста не підвищиться, через 6-7 секунд знову буде проведено перевірка пильності. Залежно від версії програмного забезпечення ТСКБМ кількість перевірок без підвищення працездатності машиніста може бути необмежена або обмежена час. В останньому випадку, якщо після

проведення третьої поспіль перевірки пильності рівень працездатності машиніста не відновиться, то напруга з ЕПК буде знята без можливості відновлення натисканням РБС і поїзд буде зупинено автостопним гальмуванням [14].

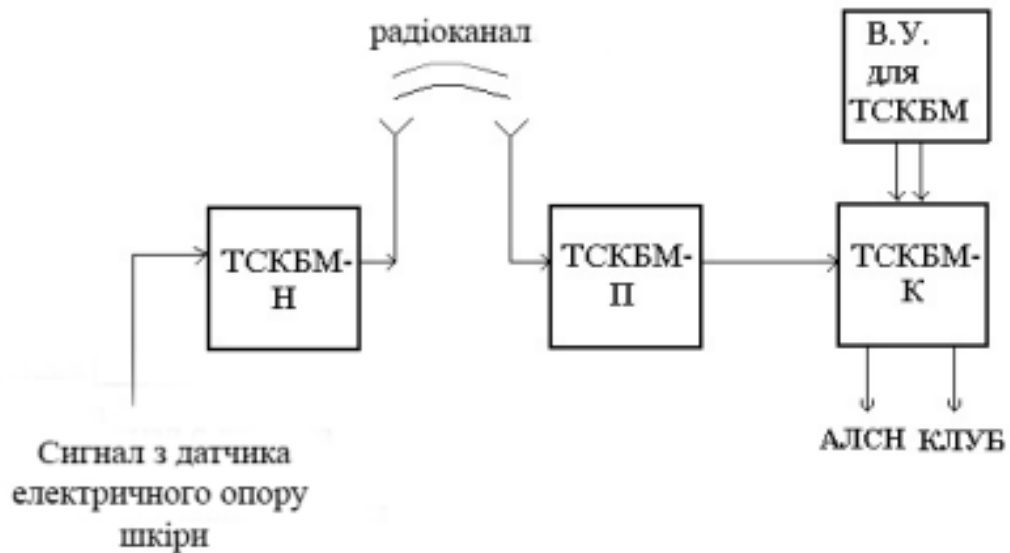


Рис.3.9. Функціональна схема системи ТСКБМ

3.5 Висновок по Розділу 3

Однією із причин недотримання безпеки руху поїзда є зменшення рівня уважності та працездатності машиніста. Звичний метод випробування уважності шляхом вимірювання часу реакції машиніста на звуковий або світловий попередження не допускає об'єктивно визначити рівень його фізіологічного стану. До того ж безперервні періодичні перевірки уважності відволікають локомотивну бригаду від існуючої роботи по керуванню поїздом. Метод енцефалографії дає достатньо точно визначити рівень фізіологічної активності людини. Головними мінусами цього методу є порівняно висока вартість пристроїв, складність аналізу здобутих даних, а також неможливість дістати коректні енцефалограми при неправильному розташуванні датчиків. Методи контролю фізіологічного стану людини за допомогою пульсометрії, а до того ж за допомогою акселерометра є достатньо легкими. Проте кожен з них сам по собі не дає змогу дати повну картину про рівень активності та працездатності.

Головною причиною та перевагою методів на базі відеоспостереження є те, що вони не будуть відволікати водія від роботи і ніяким чином не заважають процесу перевезень. Однак такі методи не дають змогу здобути достатню інформацію про функціональний стан людини. Достатньо дієвим є метод вимірювання електродермальної активності. Враховуючи сучасний рівень розвитку інформаційних технологій, доречним є комплексне застосування цього метода у тандемі з іншими, наприклад – з пульсометрією чи з методами відеоспостереження. Комплексний аналіз різних діагностичних параметрів допускає об'єктивно визначити рівень фізіологічного стану та працездатності машиніста.

РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА ПРИСТРОЮ КОНТРОЛЮ ФІЗІОЛОГІЧНОГО СТАНУ ТА ПИЛЬНОСТІ МАШИНІСТА

4.1. Алгоритм контролю фізіологічного стану та пильності машиніста

Як було зазначено у розділі 3, існує багато підходів до визначення фізіологічного стану людини, кожен з яких має свої переваги та недоліки.

Виходячи з думки про те, що пристрій, який контролюватиме пильність машиніста, має бути реалізований з урахуванням простоти виконання і достовірності отриманих результатів, пропонується застосувати одночасне вимірювання електродермальної активності та пульсу.

Аналізуючи сигнал електродермальної активності (рис. 3.7), можна побачити, що зменшення опору тіла відбувається періодично. Тривалість цього періоду залежить від фізіологічного стану людини. У випадку, коли період електродермальної активності T_{EDA} перевищує 60 секунд, можна вважати, що людина знаходиться у стані сну. Тому, взявши за діагностичну ознаку T_{EDA_i} , який збільшується із наближенням до сонного стану, є можливість відстежувати активність машиніста.

У той же час, контролюючи частоту серцевих скорочень (ЧСС), можна також робити висновки про ступінь активності людини. Нехай N_0 – кількість ударів серця за хвилину, які були виміряні у спокійному стані. Тоді, періодично вимірюючи ЧСС N_i і порівнюючи їх з N_0 , можна судити про зміну фізіологічного стану. Так, зі зменшенням N_i , відбувається збільшення різниці між ЧСС людини у спокійному стані та ЧСС у дрімотному – $\Delta N = N_0 - N_i$. Далі, використовуючи позначення кількості ударів за хвилину, матимуться на увазі відсоткові відношення ΔN .

На рис. 4.1, зображені залежності T_{EDA} та N від часу. Так, при досягненні T_{EDA_i} та N порогових значень, можна виділити кілька ділянок залежностей: активного (збудженого), спокійного, переддрімотного станів та стану сну. Ці ділянки умовні та між ними існує деяка перехідна область. Тому вважатимемо, що при порогових значеннях T_{EDA_i} та N можливий перехід у відповідний стан. Задля більш ефективної оцінки фізіологічного стану людини доцільно

аналізувати лише ті значення, за яких можливі переддрімотний стан та стан сну.

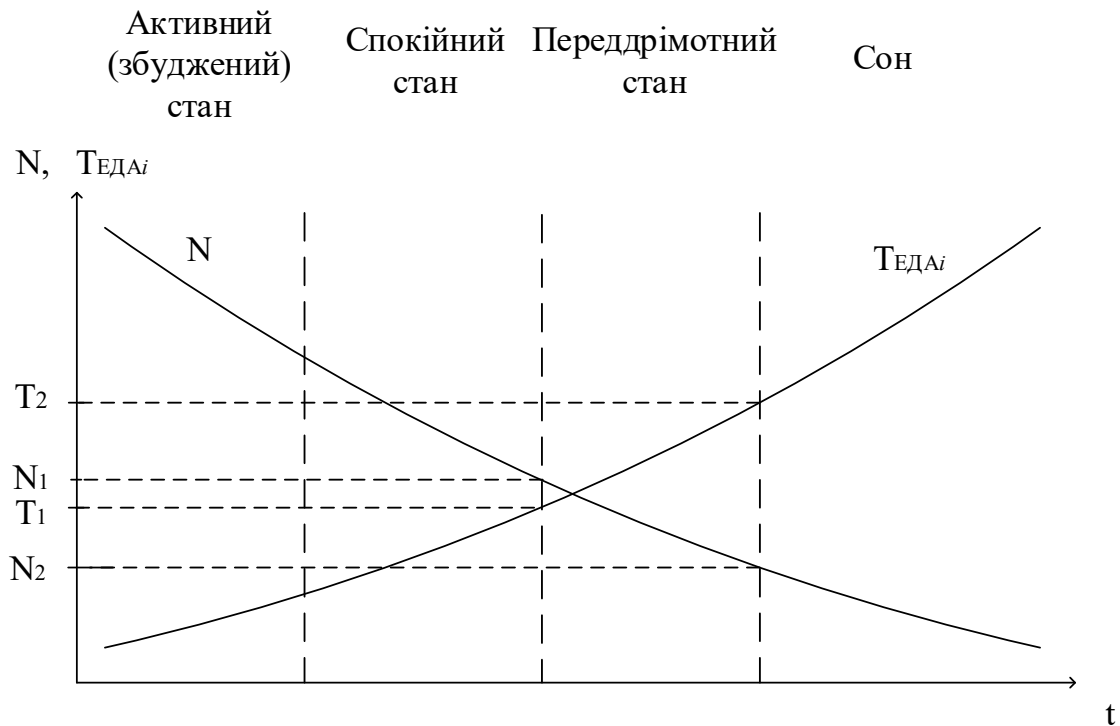


Рис. 4.1. Залежності T_{EDA} та N від часу

Якщо вважати період електродермальної активності за більш достовірний показник при оцінюванні рівня стомленості машиніста, то саме з цього параметра слід почати вимірювання, після чого – ЧСС (рис. 4.2). У тому разі, якщо після вимірювання T_{EDA} одразу ж перевищить значення, за якого можливий перехід у стан сну – T_2 , необхідно сповістити про це машиніста за допомогою світлової сигналізації. Після цієї дії машиніст має натиснути рукоятку пильності РБ після затримки у 6 секунд. У разі її натиснення, знову вимірюється T_{EDA} . Якщо цього не відбулося, є необхідність у застосуванні звукової сигналізації – свист ЕПК відбувається протягом 6 секунд і припиняється у разі натиснення рукоятки пильності. В іншому випадку – зрив ЕПК та екстрене гальмування поїзда.

Якщо ж T_{EDA} не перевищить значення T_2 , можна перейти до визначення факту перевищення N того ж значення – N_2 . І у разі перевищення – повтор дій, описаних вище, починаючи зі світлової сигналізації. Якщо ж дана нерівність не виконується, є сенс перевірки перевищення T_{EDA} та N значення, за якого

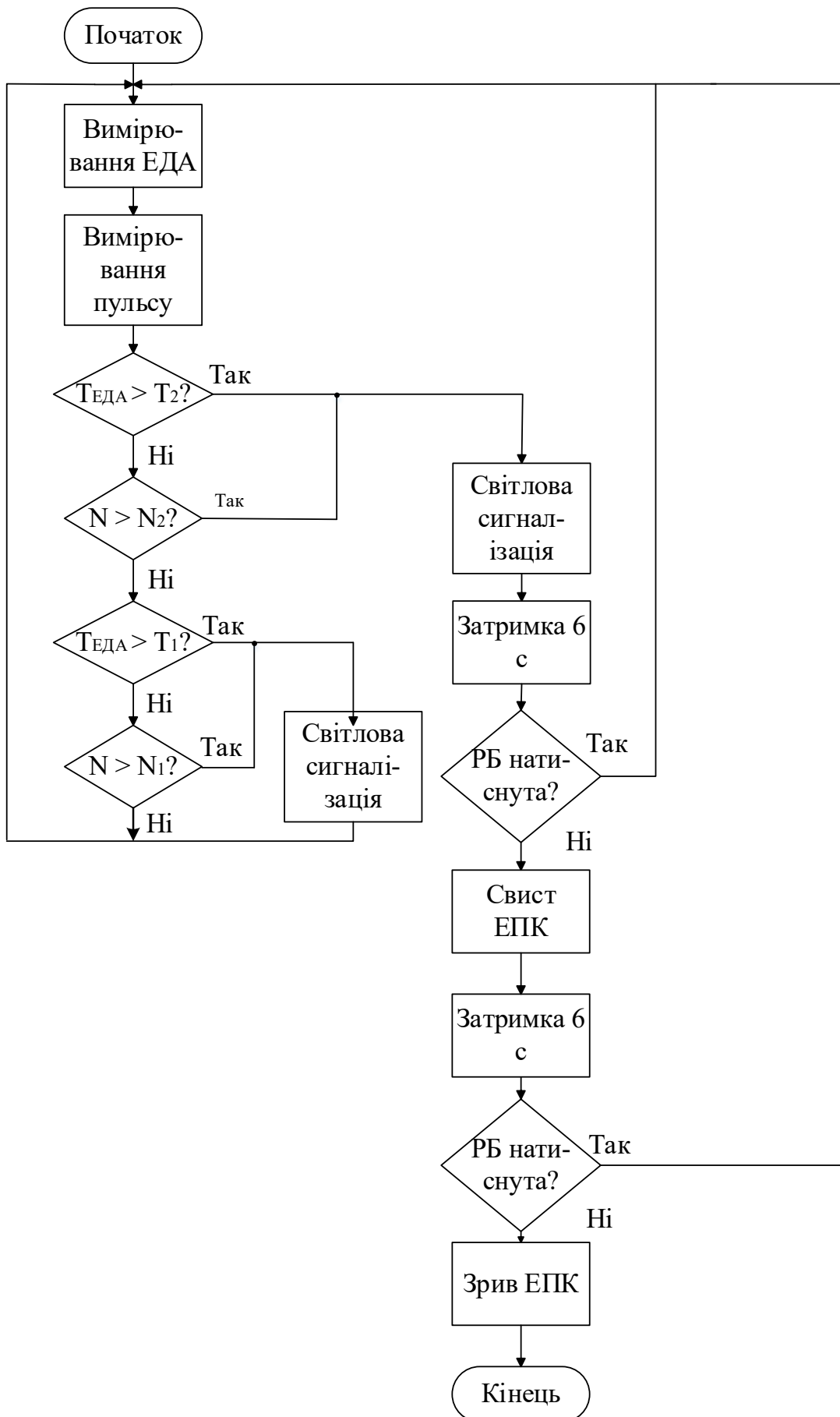


Рис.4.2. Алгоритм роботи пристрою контролю фізіологічного стану та пильності машиніста

можливий перехід у переддрімотний стан – N1. Якщо це відбулося, необхідно сповістити машиніста світловою сигналізацією. В іншому випадку – знову вимірювання T_{EDA} задля його подальшого порівняння зі значенням, за якого можливий перехід у стан сну.

4.2. Розробка носимої частини пристрою

4.2.1. Структура та принцип дії пристрою контролю

Структура пристрою контролю фізіологічного стану та пильності машиніста зображена на рис. 4.3. На руці машиніста розміщується носима частина пристрою – своєрідний браслет, який обробляє дані з двох інформаційних каналів: блоку вимірювання електродермальної активності та блоку вимірювання пульсу. Сигнали з цих каналів підсилюються, фільтруються, оцифровуються та передаються через радіоканал на приймач. Далі з приймача ця інформація потрапляє у контролер, який обробляє дані та видає рішення про рівень пильності машиніста.

На рис. 4.3 зображена структура носимої частини пристрою. Тут R_x – електричний опір шкіри, що має високе значення. Значення R_x необхідно перетворити у напругу U для подальшої обробки, подаючи у схему стабільний струм, т. ч. при незмінному значенні струму падіння напруги на резисторі пропорційне його опору [18].

Для вимірювання пульсу використовується оптрон – джерело (світлодіод) випромінює світло, яке відбивається від судин і потрапляє у фотоприймач (фотодіод). Пропонується використати один світлодіод та чотири фотодіоди, які будуть розміщені навколо джерела світла задля більш точного вимірювання пульсу.

Сигнали з обох інформаційних каналів незалежно проходять через схеми підсилювача та фільтра. Далі інформація надходить через мультиплексор, який комує один із входів з виходом, щоб бути оцифрованою за допомогою аналогово-цифрового перетворювача АЦП, який вбудовано у мікроконтролері. Квантований, дискретизований та закодований сигнал обробляється мікроконтролером. Окрім цього, мікроконтролером здійснюється подача

управляючих сигналів на мультиплексор задля вибору необхідного входу для комутації. Також він періодично подає сигнал на джерело світла. Це дозволяє світлодіоду працювати в імпульсному режимі, що значно зменшує споживання ним енергії. Разом з цим мікроконтролер виконує завадостійке кодування сигналу. Сформоване повідомлення структурно складається з бітів: ідентифікації, даних та перевірочних. Радіопередавач дозволяє через антену по радіоканалу передати оброблену інформацію з інформаційних блоків на приймач.

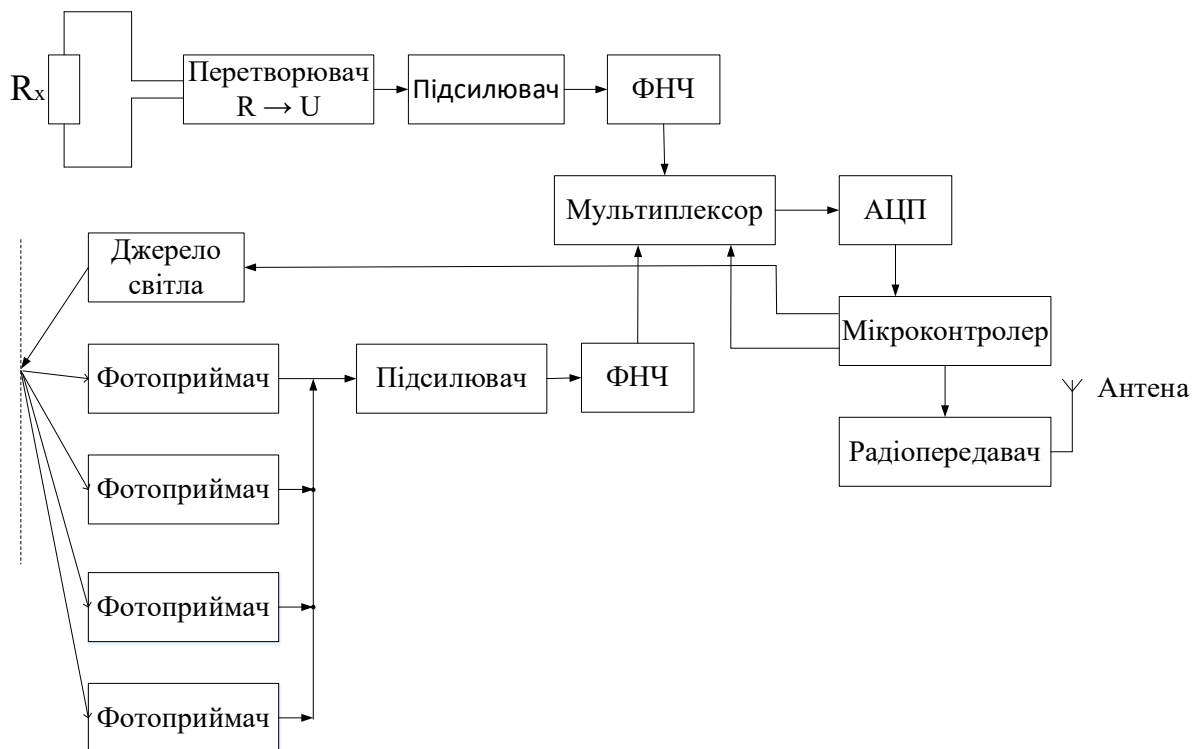


Рис. 4.3. Структура носимої частини пристрою

4.2.2. Опис принципової електричної схеми носимої частини

Принципова схема носимої частини пристрою зображена на рис 4.4. Схема складається з вузлів: два інформаційних канали – блок вимірювання електродермальної активності та блоку вимірювання пульсу (фотоплетизмографія); обробки інформації, радіопередавача та джерела опорної напруги.

Вузол вимірювання електродермальної активності побудований на схемі перетворення опору в напругу і блоку фільтрації та підсилення сигналу.

В перетворювачі опору в напругу (ПОН) стабілізатор струму містить операційний підсилювач (ОП) DA1.1, працюючий у режимі повторювача напруги, стабілітрон VD1, що забезпечує опорну напругу U_0 , польовий транзистор VT1 і резистор R1. Вимірюваний електричний опір шкіри - R_x . Напругу між входами ОП можна приблизно вважати рівною нулю, тож напруги на стабілітроні VD1 та резисторі R1 однакові та протилежно направлені. Це означає, що стабілізуючий струм рівний $\frac{U_0}{R1}$. Сумарний струм через стабілітрон VD1 і резистор R1 задається джерелом струму, побудованим на транзисторі VT1, у якого затвор з'єднаний з витокком. Вихідна напруга, рівна $\frac{U_0 R_x}{R1}$, знімається з виходу ОП, завдяки чому забезпечується низький вихідний опір ПОН. Зміна меж вимірювання здійснюється за допомоги опору R1.

Вузол фільтрації та підсилення сигналу побудований на ОП DA1.2, включений за інвертованою схемою. Коефіцієнт підсилення характеризується значеннями R2 та R3 і дорівнює $K_U = -\frac{R3}{R2}$. При підвищенні частоти сигналу елементами C2 та R3 задається частота зрізу фільтру нижніх частот (ФНЧ): знижується $Z_{C2} = \frac{1}{j\omega C2}$, відповідно до цього знижується і еквівалентний опір $Z_E = \frac{R3 \cdot Z_{C2}}{R3 + Z_{C2}}$, що, в свою чергу, призводить до зниження коефіцієнта підсилення $K_U = -\frac{Z_E}{R2}$. Резистор R4 забезпечує компенсацію температурних дрейфів вхідних струмів ОП.

Блок вимірювання пульсу побудований на світлодіоді VD2, фотодіодах VD3 – VD6 і блоку фільтрації та підсилення сигналу.

Світлодіод VD2 типу SMD3528 забезпечує світловий потік видимого спектру. Зелений колір світлодіода (довжина хвилі 515-517,5 нм) обраний з урахуванням максимального поглинання світла гемоглобіном – діапазон довжини хвилі від 500 до 600 нм. Резистор R10 задає струм світлодіода.

Фотодіоди VD3 – VD6 типу SFH2430 працюють у фотодіодному режимі роботи – при їх освітленні знижується опір і збільшуються струми, що протікають через них. Кут огляду фотодіодів даного типу складає 60°, тому розташування їх навколо світлодіода дозволяє точно поглинати світловий потік. Резистор R5 задає струм фотодіодів. Вузол фільтрації та підсилення сигналу побудований на ОП DA3.1, включений за неінвертованою схемою. Резистор R11 необхідний для компенсації температурних дрейфів вхідних струмів ОП. Резистор R13 та конденсатор C11 є елементами ФНЧ, а резистор R12 та конденсатор C10 – фільтра верхніх частот ФВЧ (його використання зумовлено межею значення пульсу), що разом складають смуговий фільтр. Вищезазначені конденсатори та резистори задають частоти зрізу фільтрів, таким чином коефіцієнт підсилення у такому разі складатиме $K_U = 1 + \frac{Z_{E1}}{Z_{E2}}$, де

$$Z_{E1} = \frac{R13 \cdot Z_{C11}}{R13 + Z_{C11}}, Z_{E2} = \frac{R12 \cdot Z_{C10}}{R12 + Z_{C10}}. \quad \text{У свою чергу,} \quad Z_{C10} = \frac{1}{j\omega C10}, \quad \text{а}$$

$$Z_{C11} = \frac{1}{j\omega C11}.$$

У схемі використовується однополярне живлення, джерело опорного живлення DA2 подає на DA1.2 та DA3.1 напругу зсуву 1,8 В.

Вузол обробки інформації побудований на мікроконтролері DD1 типу PIC16LF15313 із влаштованим багатоканальним АЦП. Кварцевий резонатор ZQ1 задає частоту роботи мікроконтролера. Конденсатори C3 та C4 необхідні для виключення паразитних ємностей. Призначення виводів мікроконтролера:

- *OSC1, OSC2* – виводи для підключення кварцевого резонатора;
- *RA0* – вхід інформаційного каналу вимірювання електродермальної активності;
- *RA1* – вхід інформаційного каналу фотоплетизмографії;
- *RA2* – вихід формування повідомлення;
- *RA3* – керування включенням світлодіода;
- *Vdd* – напруга живлення +3,6 В;
- *Vss* – загальний вивід («земля»).

Задля економії енергії відбувається нерегулярне горіння світлодіода VD2. Це досягається шляхом його імпульсного живлення завдяки подачі логічної 1 з виводу мікроконтролера DD1 RA3. З виходу RA2 подаються амплітудно-маніпульовані (АМн) сигнали. При формуванні повідомлення застосовується завадостійке кодування. Скидання мікроконтролера відбувається програмно.

У радіопередавачі використовується схема LC-генератора ємнісної триточки на біполярному транзисторі (БТ) VT3 та керуючому ключі VT2. Транзистор VT2 при знаходженні на нього логічного 0 зачинається, реалізуючи режим генератора. Транзистор VT3 – генератор, резистори R6 та R7 задають струм базового зміщення та забезпечують вибір робочої точки. Коливальний контур, що складається з котушки L1 та конденсаторів C7 та C8, задає частоту випромінювання сигналу через антену, підключений до колектору транзистора VT3. Конденсатори C5 та C9 є шунтуючими.

Живлення схеми відбувається за допомоги літій-іонного акумулятора типу LIR3048 напругою 3,6В. Його вибір обумовлений якомога більшою ємністю – 280 мА·год.

4.3. Розробка приймальної частини пристрою

4.3.1. Структура та принцип дії приймальної частини

Структурна схема приймальної частини пристрою контролю фізіологічного стану машиніста зображена на рис. 4.5. Приймальна частина є двоканальною. В кожному каналі використовуються антени з горизонтальною та вертикальною поляризацією (виконуючи певні операції, рука машиніста переміщується у просторі, змінюється поляризація випромінюваних електромагнітних хвиль).

Пропонується використання гетеродинної схеми. Принцип дії наступний: наведений на антені АМ сигнал підсилюється у підсилювачі верхніх частот ПВЧ, за допомогою змішувача перетворюється у проміжну частоту (гетеродин ω формує опорні частоти). Далі сигнал фільтрується у смуговому фільтрі СФ, підсилюється за допомогою ППЧ (підсилювач проміжної частоти). Детектор виділяє огибаючу сигналу, а задача компаратора – формування прямокутних імпульсів. Отримані сигнали потрапляють на входи РІС-контролера. Контролер, у свою чергу, обробляє і аналізує цю інформацію. На виході формується сигнал, який потрапляє до локомотивного пристрою безпеки через CAN-трансивер, що формує необхідний його рівень. Також реалізується світлодіодна шкала рівня пильності машиніста, яка дозволяє операторові самостійно контролювати цей рівень. Використовується 16 світлодіодів, 4 з яких зелені (високий рівень пильності), 8 – оранжеві (середній рівень пильності) та 4 – червоні (найнижчий, вважається небезпечним). Для сполучення світлодіодів і РІС-контролера, а також задля зменшення кількості використаних виводів контролера використовуються два 8-розрядні регістри зсуву. На виходах регістрів встановлені інвертори ТТЛ-Ш з відкритим колектором задля формування необхідного для світлодіодів рівня сигналу. Таким чином, дані на локомотивний пристрій безпеки видаються послідовно, а не паралельно.

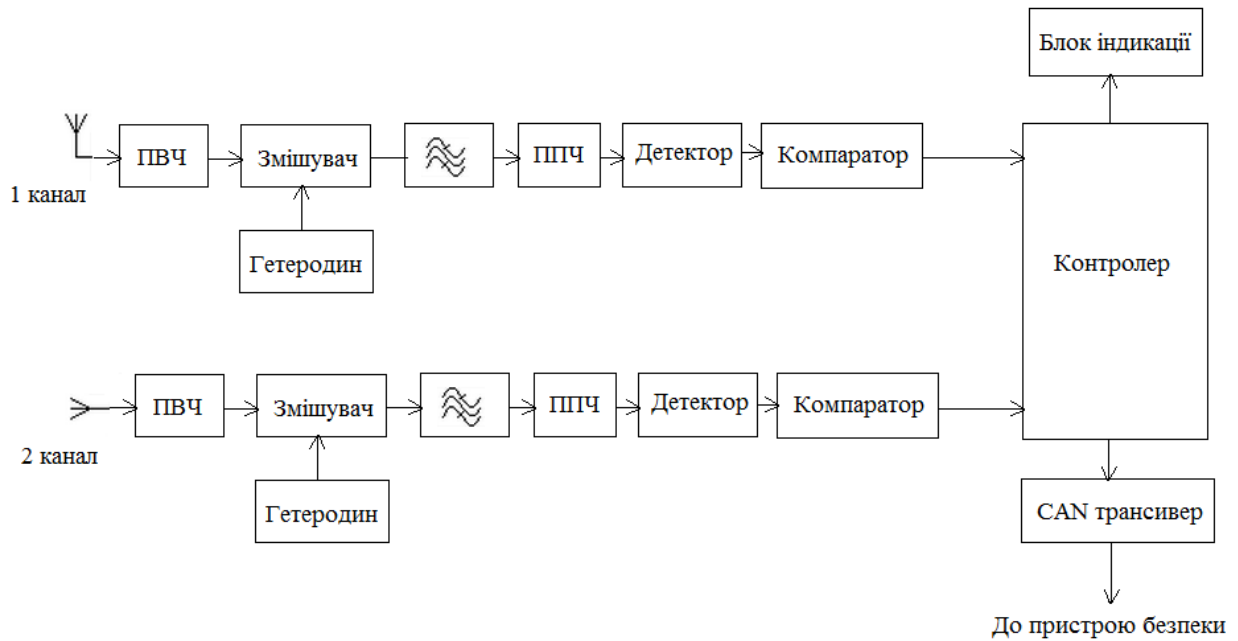


Рис. 4.5. Структурна схема приймальної частини

4.3.2. Опис принципової електричної схеми радіоприймача

Радіоприймач складається з двох каналів з однаковим набором елементів, але різним положенням приймальних антен.

Кожен канал містить вузли: підсилювача високої частоти, змішувача, гетеродину, смугового фільтру, підсилювача проміжної частоти, детектора та компаратора.

Принципова електрична схема радіоприймача зображена на рис. 4.6. Розглянемо детально перший канал приймача, другий канал працює аналогічно. Підсилювач високої частоти побудований на польовому транзисторі з двома ізольованими затворами VT3 типу BF998. Резистори R1 та R5 забезпечують режим роботи транзистора. Задля термостабілізації підсилювача використовуються резистор R9 та конденсатор C9. Конденсатори C3, C13 та C19 є елементами фільтрації сигналу. Коливальні контури, що складаються з котушки L1 і конденсатора C7 та котушки L3 і конденсатора C15, налаштовані на несівну частоту сигналу, що складає 433,92 МГц. Така частота обрана з урахуванням дозволеного діапазону роботи радіопередавальної техніки потужністю до 10 мВт, а також частоти роботи гетеродину.

Гетеродин побудований на транзисторі VT1, що включений за схемою із загальним колектором. Частота генерації сигналу 423,22 МГц задається кварцевим резонатором ZQ1. Підсилений за струмом і потужністю сигнал потрапляє на коливальний контур, що складається з конденсатора C17 та котушки L5, налаштований на частоту сигналу гетеродину.

Змішувач представляє собою польовий транзистор з двома ізольованими затворами VT5 типу BF998. Напряга гетеродину потрапляє на верхній затвор, а напряга наведеного сигналу – на нижній. Результуючий після змішувача сигнал зберігає свою форму на частоті 10,7 МГц, що є результатом різниці несівної та частоти гетеродину.

Смуговий фільтр Z1 типу ФП1П6-1.2 налаштований на частоту 10,7 МГц, забезпечує затухання інших частот на рівні 15 дБ.

Отриманий відфільтрований сигнал проходить через підсилювач проміжної частоти, побудований на транзисторі VT7 типу КТ13102Б. Резистор R15 забезпечує базове зміщення та R17 – характер навантажувальної прямої. C23 – роздільний конденсатор. Така схема дозволяє стабілізувати режим роботи ППЧ. Детектор реалізується на транзисторі VT9 типу КТ3102Б – виділяється огинаюча сигналу. C25 – навантажувальний конденсатор.

Далі ця огинаюча потрапляє на інвертуючий вхід компаратору DA1 типу К554СА201. Задля отримання на виході компаратору прямокутних імпульсів на його неінвертуючий вхід надходить напряга у 3,3 В, з якою порівнюється детектований сигнал. Стабільна напряга досягається використанням стабілітрону VD1 типу КС133А, а її регулювання – змінним резистором R23.

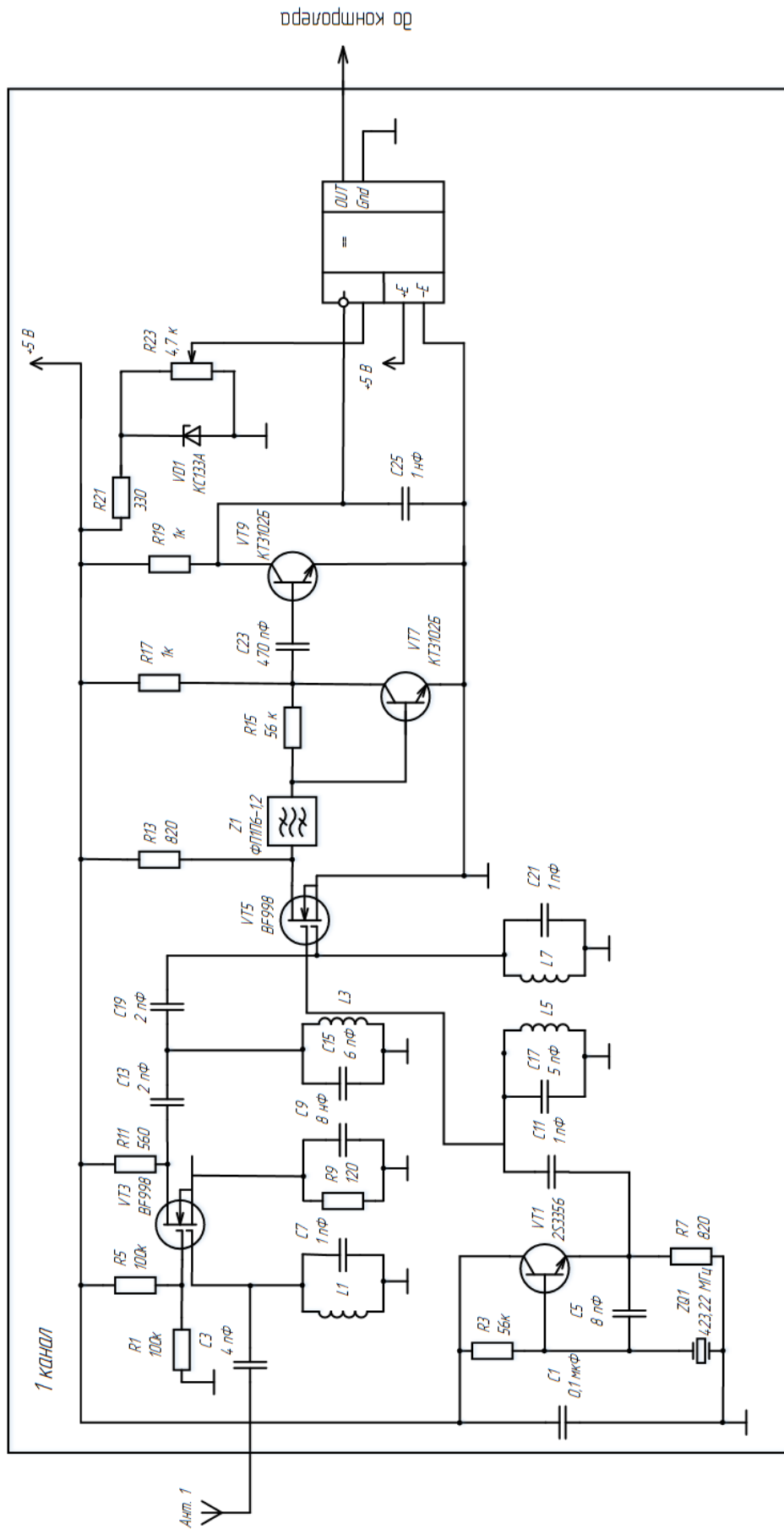


Рис. 4.6. Принципова схема приймальної частини пристрою

4.3.3. Опис принципової електричної схеми контролера та блоку індикації

Інформація з приймальної частини потрапляє по двох каналах на входи RA0 та RA1 PIC-контролера DD1 типу PIC18F2682. Кварцевий резонатор ZQ1 задає частоту роботи мікроконтролера. Конденсатори C1 та C2 необхідні для виключення паразитних ємностей. Призначення виводів мікроконтролера:

- *OSC1, OSC2* – виводи для підключення кварцевого резонатора;
- *Vdd* – напруга живлення +5 В;
- *Vss* – загальний вивід («земля»);
- *RA2, RA3* – входи інформаційних каналів приймальної частини;
- *RB7* – вихід послідовної інформації;
- *RB5* – вихід скидання регістрів;
- *CANRX, CANTX* – інформаційні виходи на CAN-трансивер;
- *RB6* – вивід синхронізації регістрів.

З виходу RB0 PIC-контролера інформація у послідовному вигляді потрапляє на 8-розрядний регістр зсуву DD3 типу SN74ALS164A. Він необхідний для того, щоб була можливість використовувати мінімальну кількість виводів PIC-контролера, а також передавати інформацію з більшою швидкістю, подаючи її паралельно, а не послідовно. Послідовні входи A та B виконують функцію логічного елемента &. На інвертовані входи CLR з виходу RB1 PIC-контролера подається сигнал асинхронного скидання регістрів. Синхронізація PIC-контролера з 8-розрядними регістрами зсуву DD3 та DD4 відбувається завдяки виводу CLK.

З виходів QA – QE регістрів інформація у паралельному вигляді потрапляє на три мікросхеми DD5 – DD7 типу IN74LS05N, що містять по шість інверторів ТТЛ-Ш з відкритим колектором. Тому, з їх виходів Y1 – Y6 через опори підключаються світлодіоди, які є індикаторами фізіологічного стану машиніста.

Також оброблена РІС-контролером інформація потрапляє на локомотивні пристрої безпеки через CAN-інтерфейс, представлений мікросхемою DD2 типу MCP2551. Призначення виводів:

- TxD – вхід передачі інформації з РІС-контролера;
- RxD – вихід приймання інформації на РІС-контролер;
- *Vdd* – напруга живлення +5 В;
- *Vss* – загальний вивід («земля»);
- Rs – вхід керування;
- CANL, CANH – задля вводу-виводу з пониженим або підвищеним рівнем напруги.

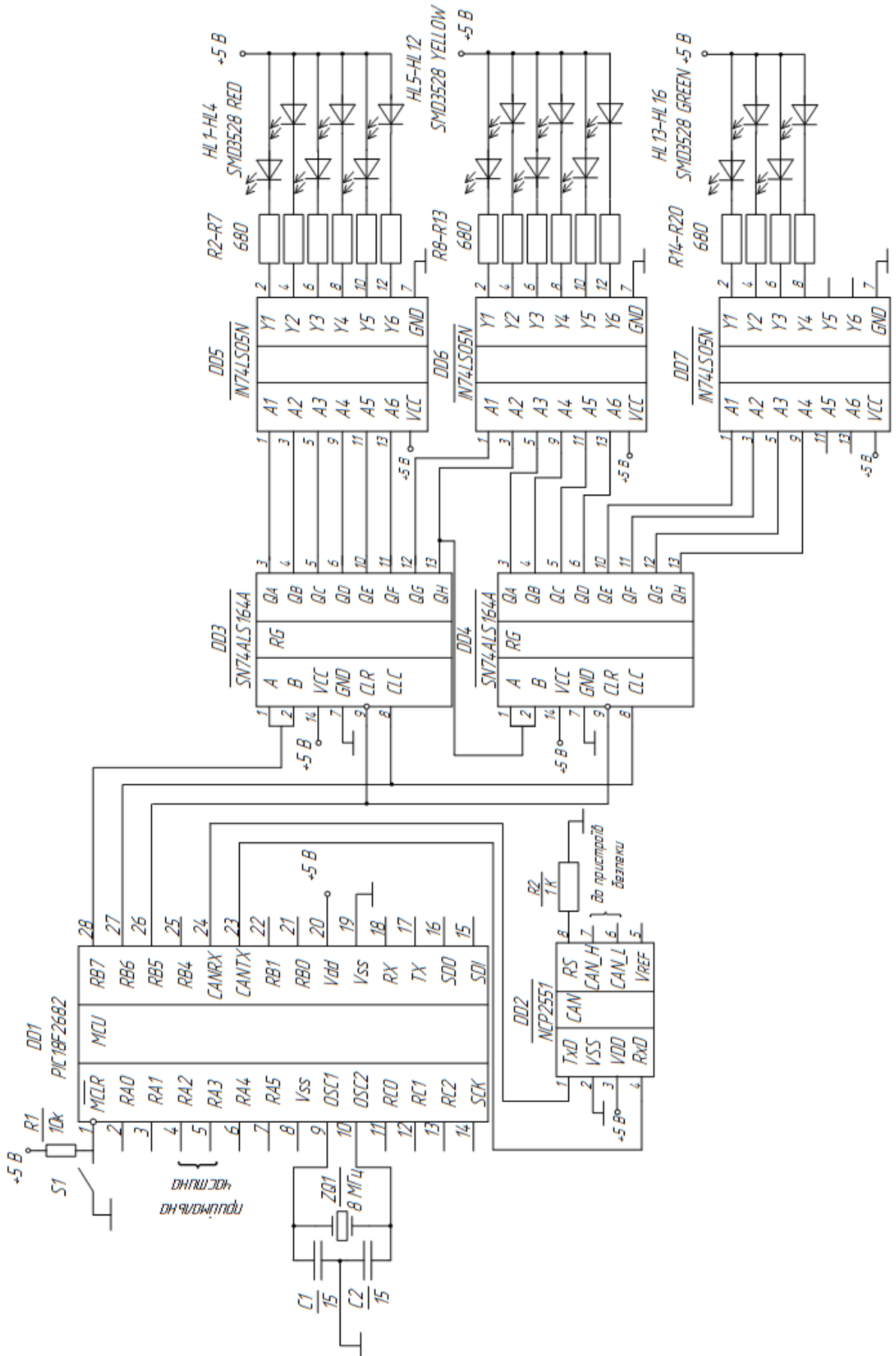


Рис. 4.7. Принципова схема контролера та блоку індикації

4.4. Висновки до розділу 4

1. На сьогоднішній день машиніст є головним у процесі керування поїздом, тому є актуальним питання визначення рівня його фізичної активності. Був запропонований алгоритм контролю фізіологічного стану і пильності машиніста, який передбачає періодичну перевірку шляхом натискання рукояток пильності: періодично або однократно. Проте, цього недостатньо через можливе їх натискання машиністом «на автоматі». Для виключення цього пропонується розроблений пристрій, який складається з наступних вузлів: носима частина, приймальна частина та контролер.

2. На руку машиніста одягається спеціальний браслет, який дозволяє визначати рівень активності людини шляхом вимірювання електродермальної активності та пульсу. Виміряні дані поступають на радіоприймач: двоканальний з антенами різного розташування, що підвищує ймовірність правильного розпізнавання, адже носима частина є рухомою, а приймач – стаціонарний. Для передачі оброблених даних на контролер використовується CAN-інтерфейс, який забезпечує високу завадостійкість. Як результат – визначений рівень фізіологічної активності і пильності машиніста відображається за допомогою світлодіодів. За низького рівня активності людини горять світлодіоди червоного кольору, середнього – жовтим, високого – зеленим. Таким чином, машиніст має змогу самостійно відстежувати рівень своєї стомленості.

ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ

Зробивши аналіз існуючих систем автоматичної локомотивної сигналізації було з'ясовано, що та система, яка використовується на території України, є недосконалою та потребують удосконалення. Однією із причин недотримання безпеки руху поїзда є зменшення рівня уважності та працездатності машиніста. Звичайний метод випробування уважності шляхом вимірювання часу реакції машиніста на звуковий або світловий попередження не допускає об'єктивно визначити рівень його фізіологічного стану. До того ж безперервні періодичні перевірки уважності відволікають локомотивну бригаду від існуючої роботи по керуванню поїздом.

У роботі було запропоновано алгоритм контролю фізіологічного стану і пильності машиніста, який передбачає періодичну перевірку шляхом натискання рукояток пильності: періодично або однократно. Проте, цього недостатньо через можливе їх натискання машиністом «на автоматі». Для виключення цього пропонується розроблений пристрій, який складається з наступних вузлів: носима частина, приймальна частина та контролер.

На руку машиніста одягається спеціальний браслет, який дозволяє визначати рівень активності людини шляхом вимірювання електродермальної активності та пульсу. Виміряні дані поступають на радіоприймач: двоканальний з антенами різного розташування, що підвищує ймовірність правильного розпізнавання, адже носима частина є рухомою, а приймач – стаціонарний. Для передачі оброблених даних на контролер використовується CAN-інтерфейс, який забезпечує високу завадостійкість.

Найголовніша перевага такої технології для використання на залізниці – це простота пристрою, його точність показників.

Для забезпечення безпеки руху, машиністу локомотива потрібно, не відволікаючись, стежити за коліями, світлофорами, стрілочними переводами та переїздами, та з цим пристроєм їм не доведеться відволікатися ще на один

зайвий фактор. Він не буде заважати водіям працювати та зможе у необхідний момент допомогти.

В якості пропозиції бачимо доцільним поглиблену розробку та тестування запропонованої системи. Така система у комплекті з навігаційним пристроєм безпеки підніме рівень автоматичної локомотивної сигналізації в Україні до Європейських зразків, а також значно підвищить показники безпеки на залізниці.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Автоматическая локомотивная сигнализация(АЛС) / [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Автоматическая_локомотивная_сигнализация
2. Автоматическая локомотивная сигнализация АЛС-МУ Режим доступа: <https://studfile.net/preview/392037/page:26/>
3. Дистанционный контроль бодрствования водителя в рейсе [Текст] / В. В. Бонч-Бруевич и др. // Автоматизация в промышленности. – 2015. С. 33-35.
4. Европейская система управления движением поездов / [Электронный ресурс]. - Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Европейская_система_управления_движением_поездов
5. Зыкова С. Почему фитнес-гаджеты не гарантируют здоровый сон [Электронный ресурс] / С. Зыкова // Rusbase. – Режим доступа: <https://rb.ru/longread/trackers/>
6. Комплексный локомотивный пристрой безопасности руху поїзда КЛУБ-У [Текст] / В.И. Зорин та ін. (Унифицированное комплексное локомотивное устройство безопасности (КЛУБ-У)). - 2007 С. 32-38.
7. Посмитюха А.Л. Устройство контроля бдительности машиниста [Текст] / А.Л. Посмитюха//Локомотивные приборы безопасности и контроль за их работой - 1992 с.23-24.
8. Порівняльний аналіз методів контролю функціонального стану та пильності машиніста / [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://eadnurt.diit.edu.ua/bitstream/123456789/11421/1/Goncharov.pdf>
9. Про затвердження Правил технічної експлуатації залізниць України: наказ Міністерства транспорту України N 411 від

- 20.12.96 [Электронный ресурс]: текст із змін. станом на 10 груд. 2003 р. / М-во юстиції України. – Офіц. вид. – 2003. – Розд.6 – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0050-97#Text>
10. Система локомотивной безопасности «ImproTRAIN-250» / [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.imp.lg.ua/index.php/ru/slb>
11. Системы автоматики и телемеханики на железных дорогах мира [Текст] / под редакцией Сергея Власенко та ін. – 2010, с. 238-240
12. Система КЛУБ-У / [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://vselekcii.ru/zheleznodorozhnyj-transport/ats/klub-u>
13. Система Sleep Alert / [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://brainjoy.ru/sleep-alert.htm>
14. Телемеханическая система контроля бодрствования машиниста / [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Телемеханическая_система_контроля_бодрствования_машиниста
15. Цифровая железная дорога Европы - от ERTMS до искусственного интеллекта / [Электронный ресурс].- Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/tsifrovaya-zheleznaya-doroga-evropy-ot-ertms-do-iskusstvennogo-intellekta/viewer>