

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЕКОНОМІКИ І ТЕХНОЛОГІЙ
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ІНСТИТУТ

ННІ/факультет	<i>Навчально-науковий технологічний інститут</i>
Кафедра	<i>Електричної інженерії та автоматизації</i>
Спеціальність	<i>151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології</i>
Форма навчання	<i>заочна</i>

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до випускної кваліфікаційної роботи

бакалавра

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

Ляшенко Тетяна Олександрівна

(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

на тему *Автоматизація залізничного транспорту. Система автоматичного контролю нагріву вагонних букс*

(повна назва теми)

за матеріалами

(повна назва бази дослідження)

науковий керівник

К.Т.Н., доцент

(наук. ступінь, вчене звання)

(підпис)

Жуков М.С.

(прізвище, ініціали)

Робота допущена до захисту в ЕК

Протокол засідання кафедри

від _____ 20__ р. № _____

Завідувач кафедри

(підпис)

Наук. ступінь, вчене звання

Є.О. Модло

Ініціали, прізвище

**ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЕКОНОМІКИ І ТЕХНОЛОГІЙ
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ІНСТИТУТ**

Кафедра Електричної інженерії і автоматизації

Рівень вищої освіти бакалавр

Спеціальність 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри Електричної інженерії і автоматизації

В.о. зав. каф.

Модло Є.О.

(підпис)

(посада, вчене звання,
прізвище ініціали)

« ____ »

2026__ року

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА СТУДЕНТУ(КИ)

Ляшенко Тетяна Олександрівна

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи бакалавра Автоматизація залізничного транспорту. Система автоматичного контролю нагріву вагонних букс.

керівник кваліфікаційної роботи к.т.н., доцент Жуков Микола Степанович

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

затверджені наказом закладу вищої освіти від «06»04.2026 р. № 240-ст

2. Строк подання студентом кваліфікаційної роботи до кафедри 01.06.2026

3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи бакалавра: статті, патенти, промислові дослідження

Об'єкт розробки і дослідження – система автоматичного контролю нагріву вагонних букс

Характер навантаження – робота в тривалому режимі

Тип системи автоматизації: Автоматизований контроль за температурою буксових вузлів; контроль за швидкістю руху вагону; контроль тиску гальмової магістралі вагону

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):

4.1 Аналітична частина;

4.2 Основна частина.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

1 Принципова схема

2 Структурна схема

3 Структурна схема управління

4 Принципова схема управління

5 Результати моделювання

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1 Аналітична частина	к.т.н., доц. Жуков М.С.		
2 Основна частина	к.т.н., доц. Жуков М.С.		

7. Дата видачі завдання «06» ____ 04 _____ 2026р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів кваліфікаційної роботи	Примітка
1.	Аналітична частина	27.04.2026	
2.	Основна частина	05.05.2026	
3.	Оформлення пояснювальної записки	12.05.2026	
4.	Виконання графічної частини	24.05.2026	
5.	Подання роботи до кафедри	01.06.2026	
6.	Захист роботи в ЕК	19.06.2026	

Студент

(підпис)

Ляшенко Т.О.

(прізвище та ініціали)

Керівник кваліфікаційної роботи

(підпис)

Жуков М.С.

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Ляшенко Т.О. «Автоматизація залізничного транспорту. Система автоматичного контролю нагріву вагонних букс» - Бакалаврська робота. - Кривий Ріг, 2026. 49 с., 15 рис., 3 табл., 17 джерел.

Об'єкт розробки - система автоматичного управління процесом очищення питної води в умовах ДПП «Кривбаспромводопостачання».

Мета роботи - автоматизувати процес очищення питної води в умовах ДПП «Кривбаспромводопостачання».

Мета дослідження та апаратура - аналіз існуючої системи регулювання та її удосконалення. Одночасно здійснюється заміна морально фізично застарілих технічних засобів виміру та регулювання на сучасні цифрові на базі мікропроцесорної техніки.

Розроблена система автоматичного контролю нагріву букс забезпечує високу швидкодію та точність діагностики завдяки застосуванню алгоритму негативного зворотного зв'язку. Розроблена система гарантує своєчасну діагностику дефектів на стадії зародження. Впровадження цієї автоматики підвищує безпеку руху, мінімізує аварійність та знижує експлуатаційні витрати на обслуговування рухомого складу завдяки виключенню зайвих оглядів справних вузлів.

СИСТЕМА АВТОМАТИЧНОГО КОНТРОЛЮ НАГРІВУ БУКС.
АПАРАТУРА КОНТРОЛЮ СТАНУ БУКС, БУКСА ВАГОНА, ДІАГНОСТИКА
РУХОМОГО СКЛАДУ, КОЛІСНА ПАРА, АЛГОРИТМ ОБРОБКИ СИГНАЛІВ,
АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА, КОНТРОЛЕР, МОДЕЛЮВАННЯ

ЗМІСТ

ВСТУП	8
1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	9
1.1 Характеристика об'єкту автоматизації, опис технологічного процесу, огляд існуючих рішень та розробка основних вимог до системи	9
1.1.1 Загальна інформація про роботу Укрзалізниці	9
1.2 Технічна характеристика пасажирського вагонного парку	11
1.3 Технологічні особливості контролю нагріву букс пасажирських вагонів	14
1.4 Визначення точок моніторингу температури буксових вузлів під час руху	15
1.5 Огляд існуючих рішень	21
1.6 Розробка основних вимог до системи	23
2 ОСНОВНА ЧАСТИНА	25
2.1 Розробка функціональної, структурної та принципової схеми системи та вибір технічних засобів автоматизації	25
2.1.1 Розробка функціональної схеми автоматизації	25
2.2 Вибір технічних засобів автоматизації	25
2.2.1 Вибір вимірювальних перетворювачів	26
2.2.2 Вибір виконавчих механізмів	28
2.2.3 Вибір мікропроцесорних засобів	28
2.3 Розробка структурної схеми системи	29
2.4 Розробка принципової схеми системи	31
2.5 Моделювання системи та розробка алгоритму	33
2.5.1 Вибір регулятора і розрахунок його параметрів	33
2.6 Розрахунок надійності системи	36
2.7 Розробка алгоритму функціонування системи	38
2.8 Заходи із охорони праці та безпеки життєдіяльності	40
2.8.1 Аналіз виробничих чинників під час експлуатації систем контролю нагріву букс	40

2.8.2 Засоби зниження дії небезпечних і шкідливих виробничих чинників	41
2.8.3 Електробезпека під час технічної експлуатації системи контролю нагріву	42
2.8.4 Безпека експлуатації системи автоматичного моніторингу температури букс	43
2.8.5 Забезпечення пожежної безпеки під час експлуатації системи моніторингу	45
ВИСНОВКИ	47
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	49

ВСТУП

Залізниця сьогодні - це головна артерія країни, яка тримає на собі всю внутрішню логістику та експорт. Від того, наскільки вчасно і стабільно працюють поїзди, залежить надто багато, тому будь-який технічний збій стає серйозною проблемою.

З 2022 року навантаження на колії та вагони стало критичним. Через постійний дефіцит ресурсів та брак часу на повноцінний ремонт техніка зношується значно швидше, ніж ми встигаємо її оновлювати. У таких умовах безпека руху стає викликом номер один - це вже не просто пункт у звітності, а життєва необхідність, щоб система могла функціонувати далі.

Останні роки показали, що старі методи моніторингу вже не справляються. Покладати контроль за станом колісних пар суто на людину - ризиковано, адже втома чи людська помилка можуть призвести до катастрофи. Потрібна сучасна автоматика, яка сама вчасно помітить проблему з буксою і відреагує до того, як почнеться руйнування вузла.

Саме тому ця робота присвячена створенню вдосконаленої системи контролю за нагріванням букс. Мета дослідження - повністю автоматизувати цей процес, щоб виключити помилки при моніторингу температури та забезпечити миттєву реакцію на небезпечні відхилення. Розробка інтелектуального алгоритму обробки даних дозволить системі самостійно відсіювати хибні сигнали та давати точну оцінку стану обладнання навіть за умов інтенсивної експлуатації. Це допоможе не лише уникнути аварій, а й зберегти рухомий склад, що в умовах дефіциту запчастин є стратегічно важливим для галузі.

В випускній роботі пропонується вдосконалити систему контролю нагріву букс шляхом повної її автоматизації.

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Характеристика об'єкту автоматизації, опис технологічного процесу, огляд існуючих рішень та розробка основних вимог до системи

1.1.1 Загальна інформація про роботу Укрзалізниці

Укрзалізниця є головним органом, який керує роботою всього залізничного транспорту України. Вона відповідає за те, як організовані перевезення поїздів у межах нашої держави та за її кордоном, а також координує діяльність усіх підприємств, що входять до структури залізниць.

До складу компанії належать шість великих територіальних залізниць, включаючи Південну, Південно-Західну, Одеську, Львівську, Донецьку та Придніпровську, разом із численними організаціями, які спільно забезпечують рух пасажирів і вантажів.

Залізниця займає ключову позицію в транспортній системі країни. Більшу частину вантажних перевезень (близько 82%) та майже половину пасажирських поїздок українці здійснюють саме завдяки цьому виду транспорту.

Загальна протяжність залізничних колій в Україні наближається до 22 тисяч кілометрів, причому майже половина з них обладнана електрифікацією. За кількістю перевезених вантажів Україна входить до четвірки лідерів на Євразійському континенті, випереджаючи за цим показником усіх, крім Китаю, Індії та Росії. Важливо відзначити, що інтенсивність використання українських колій в декілька разів вища, ніж у більшості країн Європи.

Технічне забезпечення галузі включає понад тисячу чотириста залізничних станцій, десятки локомотивних і вагонних депо, а також мережу спеціалізованих дистанцій, які обслуговують колії, енергопостачання, зв'язок та сигналізацію.

Через територію України пролягають три важливі міжнародні транспортні коридори, а також здійснюється сполучення з Дунайським водним шляхом через порти Рені та Ізмаїл. Загальна довжина транзитних коридорів становить понад 3

тисячі кілометрів. Переважно це сучасні магістралі з двома коліями та системами автоблокування, де технічне обладнання працює з дуже високим навантаженням. Крім цього, країна активно залучена до розвитку міжнародного коридору ТРАСЕКА, що сполучає Європу з Кавказом та Азією. Також Укрзалізниця бере активну участь у роботі Ради із залізничного транспорту між державами-партнерами. АТ «Укрзалізниця» залишається ключовим оператором, що забезпечує функціонування залізничної мережі країни, координуючи перевезення вантажів та пасажирів у внутрішньому і міжнародному сполученнях. У 2026 році компанія зберігає роль основного логістичного хребта, забезпечуючи роботу промислових гігантів, таких як ArcelorMittal та інші підприємства гірничо-металургійного комплексу.

Попри виклики воєнного часу, галузь адаптується до нових реалій. Технічний стан інфраструктури та рухомого складу сьогодні потребує значних інвестицій в автоматизацію для підвищення безпеки руху.

Проанізуємо статистичні показники стану мережі (станом на 2026 рік).

Загальна експлуатаційна протяжність основних колій становить близько 21600 кілометрів, при цьому частка безстикових колій продовжує зростати для підвищення плавності руху. Рівень електрифікації магістралей становить близько 45 відсотків від загальної довжини мережі. Стандарт ширини колії залишається незмінним та дорівнює 1520 міліметрам. Система налічує 1447 діючих залізничних станцій, що є вузлами промислової логістики. Мережа вокзалів охоплює 125 споруд, розподілених за класами відповідно до обсягів пасажиропотоку. Загальна кількість залізничних переїздів перевищує 5400 одиниць, з яких понад 4100 обладнано сучасними системами автоматичної сигналізації.

Проаналізуємо рухомий склад та показники ефективності. Парк вантажних вагонів налічує понад 116 тисяч одиниць, що забезпечує потреби гірничо-видобувної та металургійної галузей. Пасажирський парк становить понад 7000 вагонів різного класу комфортності. Тяговий рухомий склад включає парк тепловозів та електровозів, чисельність яких коригується відповідно до завдань

з оновлення тяги. Інвентарний парк приміського сполучення, що складається з електропоїздів та дизель-поїздів, проходить етап модернізації для підвищення надійності в експлуатації. Чисельність персоналу галузі складає понад 360 тисяч фахівців, які підтримують безперебійну роботу всіх служб. Щорічні обсяги перевезень вантажів та пасажирів залишаються стратегічно важливими для економіки, незважаючи на зміну маршрутів через зовнішні чинники. Кількість фірмових пасажирських поїздів становить 63 одиниці, що забезпечує стабільність сполучення між найбільшими містами України.

1.2 Технічна характеристика пасажирського вагонного парку

Вагони є найбільш масовим елементом залізничного рухомого складу. Для забезпечення їхньої надійної роботи існують чіткі нормативи експлуатації. Всі конструктивні елементи вагона мають гарантувати безпеку руху та плавність ходу на максимальних швидкостях, визначених залізничною адміністрацією. Вимоги до міцності та технічного стану нових вагонів враховують перспективні швидкісні характеристики локомотивів.

Для вагонів, що експлуатуються на швидкостях понад 140 км/год, Міністерство інфраструктури встановлює окремі регламенти з ремонту та технічного нагляду. Порядок створення нових типів вагонів, затвердження їхніх креслень та технічних умов регулюється урядовими рішеннями. Будь-які зміни в конструкції вузлів, що вже знаходяться в експлуатації, проходять аналогічне погодження з профільними інженерними управліннями.

Кожен вагон повинен відповідати стандартам габаритів та мати ідентифікаційне маркування. Перед випуском на лінію новий рухомий склад обов'язково проходить заводські випробування. Технічний паспорт вагона ведеться протягом усього терміну його експлуатації, містить історію ремонтів, модернізацій та дані про стан систем. Відповідальні особи повинні забезпечувати підтримку справного стану обладнання для подовження ресурсу техніки.

Класифікація та технічне оснащення:

Пасажирський парк включає вагони для пасажирів, поштові, багажні, вагони-ресторани та спеціальні технічні вагони. Вагони далекого сполучення поділяються на купейні та відкриті (некупейні) з місцями для сну. Місцеве та приміське сполучення забезпечується вагонами з кріслами або диванами для сидіння. Типовий вагон - це чотиривісна суцільнометалева конструкція довжиною 23,6 м. Комфорт забезпечується примусовою вентиляцією, а сучасні моделі мають системи кондиціонування для автоматичної підтримки мікроклімату. Електрична енергія для освітлення, підігріву води та роботи кип'ятильників виробляється генератором, привід якого з'єднаний з віссю колісної пари. Системи опалення бувають електричними, комбінованими або водяними (на твердому паливі).

Основні вузли та вузол контролю:

Будь-який пасажирський вагон (рис.1.1) має чотири базові системи: кузов з рамою, ходові частини, автозчеплення та гальмове обладнання.

Кузов є несучою зварною конструкцією, яка забезпечує високу міцність при відносно малій вазі. Ходова частина складається з візків, у яких розміщені колісні пари та букси з підшипниками. Для забезпечення плавного ходу на візках встановлено складне ресорне підвішування та гідравлічні гасителі коливань. Буксовий вузол є відповідальною ланкою ходової частини, що сприймає основні навантаження від ваги вагона. Саме контроль температури цього вузла є ключовим завданням для запобігання заклинюванню підшипників та аварійним ситуаціям. Впровадження автоматизованої системи моніторингу, описаної в цій роботі, дозволяє контролювати стан цих вузлів у реальному часі, що підвищує безпеку експлуатації всього парку. Кузов служить для розміщення у вагоні пасажирів. Конструкція кузова залежить від призначення вагону. Каркас кузова суцільнометалевого пасажирського вагона являє єдину зварену металеву несучу конструкцію, що складається з поперечних і поздовжніх балок і стійок, а також дуг даху. Зовнішня обшивка і дахвиконані із сталевих листів гофрованих, приварюється до каркаса. Такий кузов володіє великою міцністю і меншою масою, що припадає на одне пасажирське місце. Внутрішні перегородки, а також

внутрішня обшивка стін виконані з дерева, деревоволокнистих плит і полімерних матеріалів. Рама сприймає поздовжні ударно-тягові сили, що діють на вагон, і масу вантажу. Хребтова балка рами сучасних вантажних вагонів складається з двох потужних сталевих прокатних швеллерних. До ходових частин вагона відносяться колісні пари, букси з підшипниками, ресорне підвішування.



Рис.1.1. Загальний вигляд вагона

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [1]

У чотиривісних вагонах всі цілементи об'єднуються у візки, які і забезпечують більш легке проходження вагонів на кривих ділянках колії і більше плавний хід. Візок двовісні КВЗ-ЦНИИ - найбільш досконалий тип візkipасажирського вагона. Зварна рама візка спирається на надбуксові циліндричні ресори і через них на опори роликових букс колісних пар. Візок має центральне ресорне підвішування, що складається з чотирьохтрирядне пружин, двох люлечних балок, чотирьох люлечних підвісок і бічних гідравлічних гасителів коливань. Візки для вагонів масою брутто до 70т мають по одному з кожної сторони гідравлічному гаситель коливань, а для вагонів масою брутто вище 70 т - по два гаситель. Візок суцільнометалевих пасажирських вагонів колишніх випусків має центральне люлечное підвішування, забезпечене еліптичними ресорами безгідравлічних гасителів коливань. Вагони з такими візками можуть бути використані для швидкостей руху до 120 км/ч. Для пасажирських вагонів основний конструкційної характеристикою є ставлення тари до числа місць для пасажирів. Чим менше маса тари, що припадає на кожне місце, тим економічніше вагон.

1.3 Технологічні особливості контролю нагріву букс пасажирських вагонів

Безперебійне функціонування залізничного транспорту не лише забезпечує між господарчі зв'язки між різними галузями народного господарства, а є також запорукою економічної безпеки держави. Однією з найважливіших складових залізничного транспорту є парк вагонів. Буксовий вузол візків пасажирського вагона - складний конструктивний елемент, основна функція якого передача зусиль від колісної пари що рухається по рейках і обертається в залежності від швидкості руху вагона на опорні конструкції візка. Особливе значення для забезпечення безпеки руху на залізничному транспорті має висока надійність буксових вузлів рухомого складу. Пошкодження цих вузлів, що не виявлені своєчасно, можуть призвести до важких наслідків, таких

як наклад аварія. Попередження таких випадків можливо лише за умови раннього та своєчасного виявлення дефектів елементів буксових вузлів. Тобто контроль технічного стану буксових вузлів в умовах експлуатації є важливою складовою забезпечення безпеки руху. Особливо навантаженим вузлом букси є підшипник, і від його стану (знос, що з'являються дефекти поверхонь катання, дефекти сепаратора і т. і.) Багато в чому залежить безпека руху вагона. Основною ознакою можливої несправності буксового вузла вагонів є, як правило, підвищений нагрів корпусу та деталей букси. Як критерій стану підшипника зручно використовувати температурні параметри, зокрема температуру корпусу букси, яка пропорційна температурі самого підшипника.

Причинами підвищеного нагріву букс є:

- а) зайва кількість мастила;
- б) заїдання в лабіринті внаслідок відсутності зазору між лабіринтовою частиною корпусу букси і лабіринтовим кільцем;
- в) ненормальна робота роликів підшипників, що викликає різко підвищений нагрів букси.

Це може статися через несправність підшипників: розриву внутрішнього кільця, малого осьового та радіального зазорів підшипників, зламу або зносу сепаратора, відсутності або втрати мастилом своїх властивостей, неправильної збірки підшипників та інших деталей, попадання сторонніх тіл (пісок, металеві включення і т. п.), неправильної збірки візки (перекіс рами, неточна установка шпінтонов і т. д.); г) несправності осі колісної пари та буксового вузла. Всі вказані причини можуть привести до сходження рухомого складу під час руху від заклинювання колісної пари або зламу осі колісної пари

1.4 Визначення точок моніторингу температури буксових вузлів під час руху

Ефективність системи контролю буксового вузла залежить від того, наскільки обрані зони вимірювання відповідають реальному тепловому стану

шийки осі. Обґрунтування цих зон потребує аналізу конструктивних особливостей вузла та переліку типових дефектів.

Типова колісна букса з циліндричними роликовими підшипниками містить передній та задній підшипникові ряди, змонтовані на шийці осі впритул. Така компоновка дозволяє зменшити осьові габарити та мінімізувати напруження в металі шийки. Внутрішні кільця підшипників фіксуються на шийці з натягом. Задній підшипник обладнаний однобортним внутрішнім кільцем, тоді як у переднього ця функція виконується приставним упорним кільцем. Осьове кріплення вузла забезпечується гайкою. Зовнішня герметизація конструкції досягається за допомогою чотирикамерного лабіринтового ущільнення та оглядової кришки.

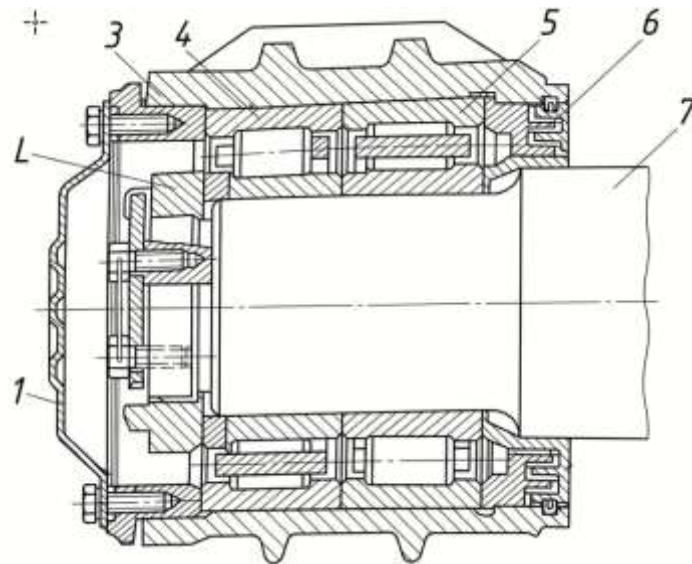
Під час експлуатації роликових підшипників виникають такі критичні несправності:

- механічні пошкодження бортів внутрішніх кілець (сколи, тріщини);
- втрата нерухомості внутрішніх кілець відносно шийки осі (проворот);
- руйнування сепараторних елементів;
- деградація змащувального матеріалу внаслідок потрапляння вологи, піску, металевої стружки або пилу.

Кожен із зазначених дефектів супроводжується локальним або загальним підвищенням температури, що є ключовим індикатором для засобів діагностики на ходу поїзда.

Вищеназвані дефекти під час руху залізничного складу спричиняють підвищення температури в зоні шийки осі та конструктивних елементів букси. Теплова енергія, що генерується внаслідок тертя підшипникового вузла, розподіляється за двома основними напрямками: через тіло осі на колісну пару та через підшипниковий вузол безпосередньо на корпус букси. Згідно з результатами досліджень фахівців із США, частка тепла, що поглинається колесом і віссю, становить близько 77%, тоді як на корпус букси припадає 23% теплового потоку. Стабільний стан буксового вузла під час експлуатації визначається балансом теплообміну між деталями вузла, колісною парою та навколишнім середовищем.

При нормальному функціонуванні кількість згенерованого тепла дорівнює обсягу енергії, що розсіюється в атмосферу. У справних буксах режим стабільної температури шийки осі встановлюється приблизно після 40 кілометрів пробігу (див. рис. 1.4, крива 3). На фінальний температурний показник впливає низка чинників: поточна швидкість поїзда, навантаження на підшипник, а також параметри навколишнього повітря. Зокрема, при температурі повітря 20°C стаціонарний температурний рівень шийки осі у роликових буксових вузлах є на 10–20°C нижчим від критичних значень. Буксовий вузол, обладнаний циліндричними роликовими підшипниками (див. рис. 1.2), складається з двох послідовно розташованих підшипників - переднього (4) та заднього (5).



1 - оглядова кришка; 2 – гайка; 3 – корпус; 4, 5 - підшипники; 6 - чотирикамерний лабіринтовий ущільнювач; 7 – шийка осі

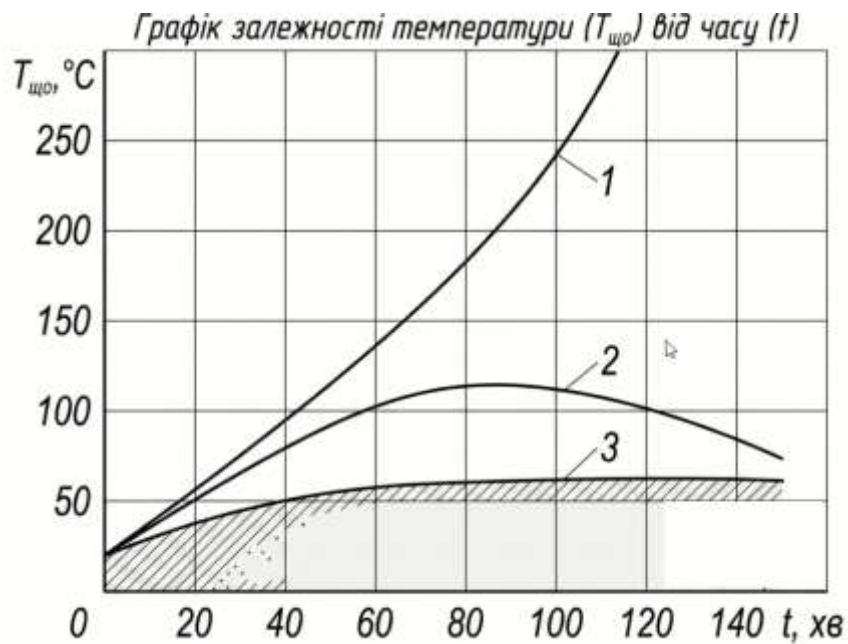
Рис.1.2. Букса з роликовими підшипниками

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [1]

Їх монтаж на шийку осі (7) здійснюється впритул, що дозволяє оптимізувати габарити вузла та зменшити рівень напружень у самій осі. Конструктивні відмінності полягають у тому, що внутрішнє кільце заднього підшипника є однобортним, тоді як передній підшипник комплектується плоским упорним кільцем, яке виконує аналогічну функцію. Монтаж внутрішніх кілець на вісь передбачає встановлення з натягом. Фіксація переднього підшипника в осьовому

напрямку забезпечується кріпильною гайкою (2). Герметичність корпусу (3) досягається комбінацією оглядової кришки (1) та чотирикамерного лабіринтового ущільнювача (6). У процесі експлуатації роликові буксові вузли схильні до виникнення низки дефектів. До найбільш типових несправностей належать механічне руйнування (тріщини та викришування) бортів внутрішніх кілець, втрата посадкової щільності (проворот) на осі, вихід із ладу сепараторів, а також втрата робочих властивостей мастила внаслідок потрапляння сторонніх часток, зокрема металевого пилю, стружки, піску або вологи. Вищеназвані дефекти під час руху залізничного складу спричиняють підвищення температури в зоні шийки осі та конструктивних елементів букси. Теплова енергія, що генерується внаслідок тертя підшипникового вузла, розподіляється за двома основними напрямками: через тіло осі на колісну пару та через підшипниковий вузол безпосередньо на корпус букси. Згідно з результатами досліджень фахівців із США, частка тепла, що поглинається колесом і віссю, становить близько 77%, тоді як на корпус букси припадає 23% теплового потоку.

Стабільний стан буксового вузла під час експлуатації визначається балансом теплообміну між деталями вузла, колісною парою та навколишнім середовищем. При нормальному функціонуванні кількість згенерованого тепла дорівнює обсягу енергії, що розсіюється в атмосферу. У справних буксах режим стабільної температури шийки осі встановлюється приблизно після 40 кілометрів пробігу (див. рис. 1.3, крива 3). На фінальний температурний показник впливає низка чинників: поточна швидкість поїзда, навантаження на підшипник, а також параметри навколишнього повітря. Зокрема, при температурі повітря 20°C стаціонарний температурний рівень шийки осі у роликових буксових вузлах є на 10–20°C нижчим від критичних значень. Процес перегріву буксового вузла супроводжується порушенням рівноваги теплообміну, що призводить до стрімкого підвищення температури шийки осі та корпусу під час руху (див. графік 1 на рис. 1.4). Швидкість нагрівання не є сталою величиною: вона варіюється залежно від інтенсивності навантаження на вісь, швидкості поїзда та специфіки технічної несправності.



1 - динаміка нагріву аварійної букси, для якої характерне стрімке зростання температури шийки осі; 2 - відображає процес припрацювання підшипникового вузла, що супроводжується поступовим підвищенням та подальшим стабілізуванням температури; 3 - справна букса

Рис.1.3. Графічне зображення температурних режимів роботи буксового вузла

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [1]

У конструкціях із роликовими підшипниками спостерігається особливо швидке зростання температури, зокрема при критичних пошкодженнях, таких як руйнування сепараторів або сколи бортів внутрішніх кілець. Згідно з результатами як американських досліджень, так і статистичних спостережень на вітчизняних магістралях, після виникнення критичного перегріву критично обмежений запас шляху: до моменту зламу шийки осі поїзд здатний пройти не більше ніж 45-50 км.

Тривалий нестабільний тепловий режим може спостерігатися під час експлуатації нових підшипникових вузлів, особливо якщо їх монтаж був виконаний із відхиленнями від технологічних вимог. У фазі припрацювання деталей температура шийки осі здатна сягати 100–140°C (див. графік 2 на рис. 1.4).

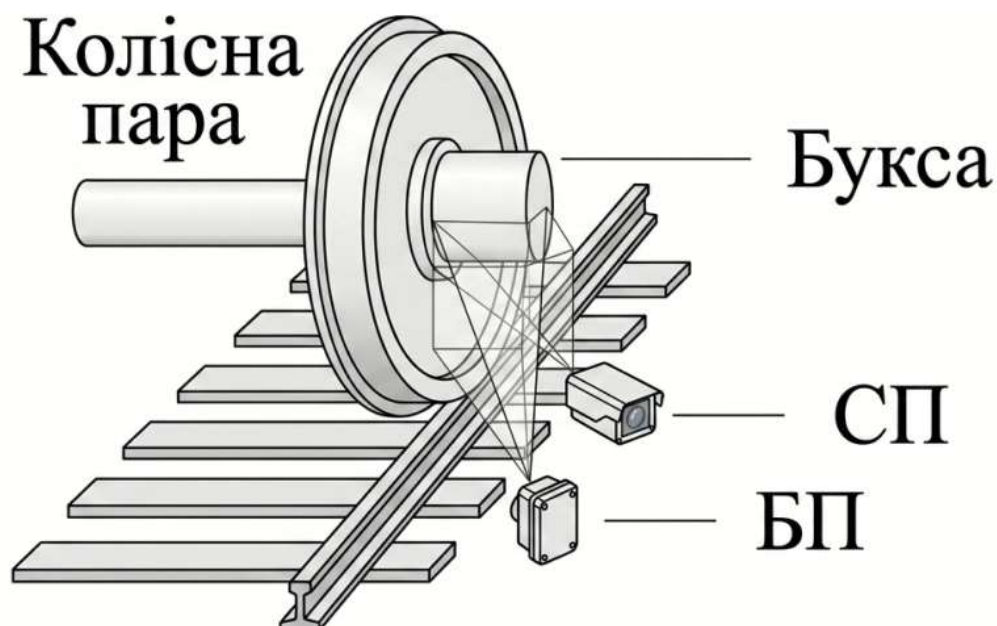


Рис.1.4. Зони огляду напільних камер апаратури контролю АСДК-Б

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [1]

Надалі, у міру того як робочі поверхні притираються, тепловий стан нормалізується, а температурні показники стабілізуються після проходження поїздом дистанції у 40-80 км.

Такі випадки часто призводять до помилкової ідентифікації букс як аварійних, що провокує безпідставні зупинки рухомого складу. Варто зазначити, що частка таких букс у загальній структурі відмов є мінімальною.

Останнім часом умови роботи залізничного транспорту істотно трансформувалися, що зумовлено впровадженням інноваційних конструкцій рухомого складу - зокрема, спеціалізованих моделей для швидкісного руху та вагонів зі збільшеною вантажопідйомністю, а також через інтеграцію сучасних закордонних технологій у вітчизняний парк. На основі аналізу теплових характеристик буксового вузла та з урахуванням технічних обмежень, пов'язаних із габаритами наближення споруд, було визначено оптимальні зони моніторингу температури. Ці зони огляду забезпечують достовірність діагностики, зберігаючи при цьому необхідну відстань до обладнання, розміщеного вздовж залізничної колії. Вибір базувався на наступних чинниках:

Кореляція температур: обрані точки спостереження демонструють найвищий ступінь відповідності реальній температурі підшипникових елементів, що дозволяє мінімізувати похибки вимірювань.

Конструктивна відповідність: запропоновані зони огляду технічно сумісні з геометрією стаціонарних пристроїв контролю, що монтуються на шляху прямування поїздів.

Дотримання габаритів: локалізація точок вимірювання повністю узгоджується з нормами габаритів наближення споруд, що унеможливорює пошкодження апаратури під час руху рухомого складу.

1.5 Огляд існуючих рішень

Система контролю нагріву букс (СКНБ) служить для підвищення безпеки руху поїздів. Вона дозволяє постійно контролювати нагрів букс і попереджати аварії в результаті перегріву і руйнування роликових підшипників. Електрична схема СКНБ з електромагнітним реле - двухдротова і постійно знаходиться під напругою. Всі термодатчики встановлені на буксах візків і з'єднані між собою послідовно. У ланцюг термодатчиків послідовно ввімкнена катушка реле. Паралельно термодатчиків через два розмикаючі контакти реле ввімкнена сигнальна лампа, яка знаходиться на щиті управління і дзвоник. Коли катушка реле під напругою, ланцюг сигнальної лампи і дзвінка знеструмлений. Вимикач на щиті управління служить для перевірки ланцюга сигналізації. Проводи від термодатчиків прокладені по рамі візка в трубах. Дріт з візків з'єднаний з дротами на кузові за допомогою спеціальних штирьових роз'ємів на кожній з двох візків. Сигналізація захищена двома запобіжниками. У середині латунного корпусу термодатчика розташований легкоплавкий сплав, до якого підключений двужильний дріт. Кінці дроту, залиті сплавом, служать контактами. При нагріванні корпусу букси в місці установки термодатчика до температури 83-92 °С сплав розплавляється і замикає його контакти. В свою чергу при розмиканні ланцюга, реле знеструмлюється і своїми розмикаючими контактами замикає

ланцюг дзвінка і сигнальної лампи. При будь-якому розриві ланцюга катушки реле в службовому купе дзвонить дзвінок і загоряється сигнальна лампа. На деяких вагонах замість вимикача перевірки роботи систем сигналізації застосовується кнопка і є можливість відключення ланцюга дзвінка. У зв'язку з тим що мають місце випадками помилкового спрацювання СКНБ, що з'ясовується після зупинки поїзда та перевірки ступеня нагріву букс даного вагона, на вагонах нових моделей, в систему був включений електронний блок, а замість термодатчика позисторний датчик, який при нагріванні букс збільшує свій опір без розплавлення. Цей електронний блок змонтований на розподільному щиті і відрізняє помилкове спрацювання (механічну несправність ланцюга) від перегріву. При спрацюванні блок "аналізує" ситуацію і сигналізує провіднику вагона. При помилковому спрацюванні звучить преривчастий сигнал і лампочка блимає, при перегріванні звучить безперервний сигнал і лампочка не блимає. При перевірці перед відправленням в рейс вмикачем включають преривчастий сигнал, звучання якого свідчить про справність сигналізації. При спрацюванні СКНБП провідник повинен терміново зірвати стоп-кран, викликати начальника поїзда і поїзного електромеханіка, огородити поїзд, перевірити на дотик температуру буксового вузла.

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [5]

1.6 Розробка основних вимог до системи

З розвитком денних пасажирських перевезень та скороченні штатів працівників залізниць, що також відображається і на нормах обслуговуючого персоналу поїздів. Так за звичай на кожному вагоні знаходиться по одному працівнику поїзної бригади, який під час чергування надає послуги з придбання чаю, прибирання вагону, перевірка проїздних документів. Також у цей час необхідно контролювати стан систем контролю за роботою обладнання вагону і

безпеки руху. Споміж усіх систем необхідним є виділення системи контролю нагріву букс. При своїй роботі система контролю нагріву букс пасажирських вагонів повинна забезпечувати: автоматизований контроль за температурою буксових вузлів (кожен окремо); магістралі; ситуацій; контроль за швидкістю руху вагону; контроль тиску гальмівної магістралі вагону; відображати поточну температуру букс, швидкість руху, тиск у проводити гальмування поїзду при виникненні нештатних ситуацій; сповіщати працівників поїзду про виникнення непередбачених архівувати інформацію про контрольні показання датчиків, для можливості подальшого її використання.

2 ОСНОВНА ЧАСТИНА

2.1 Розробка функціональної, структурної та принципової схеми системи та вибір технічних засобів автоматизації

2.1.1 Розробка функціональної схеми автоматизації

В системі контролю нагріву букс на візках вагонів у буксових вузлах залишаються позисторні датчики температури, але замість послідовного з'єднання сигнал від кожного такого датчика поступатиме окремо на контролер, через плату узгодження рівнів сигналів що надасть змогу одразу виявляти місце перегріву на вагоні та вказувати номер букси що має відхилення від нормальних режимів роботи. При цьому температура кожного буксового вузла буде окремо виведена на дисплей. Кількість сигналів температури складатиме 8 каналів. В систему гальмової магістралі вагону вмикається датчик тиску повітря зарядки. За його допомогою буде вимірюватися тиск, сигнал поступатиме на контролер через узгоджуючу плату. Для визначення швидкості руху в систему автоматизації контролю перегріву букс пасажирського вагону встановлено прилад вимірювання швидкості. На візок, біля робочого тамбуру де знаходиться щитова управління, встановлюється датчик швидкості руху. Сигнал від нього поступатиме на контролер через плату узгодження рівнів сигналів. Визначення чи ввімкнене електро-пневматичне гальмо визначатиметься через датчик напруги

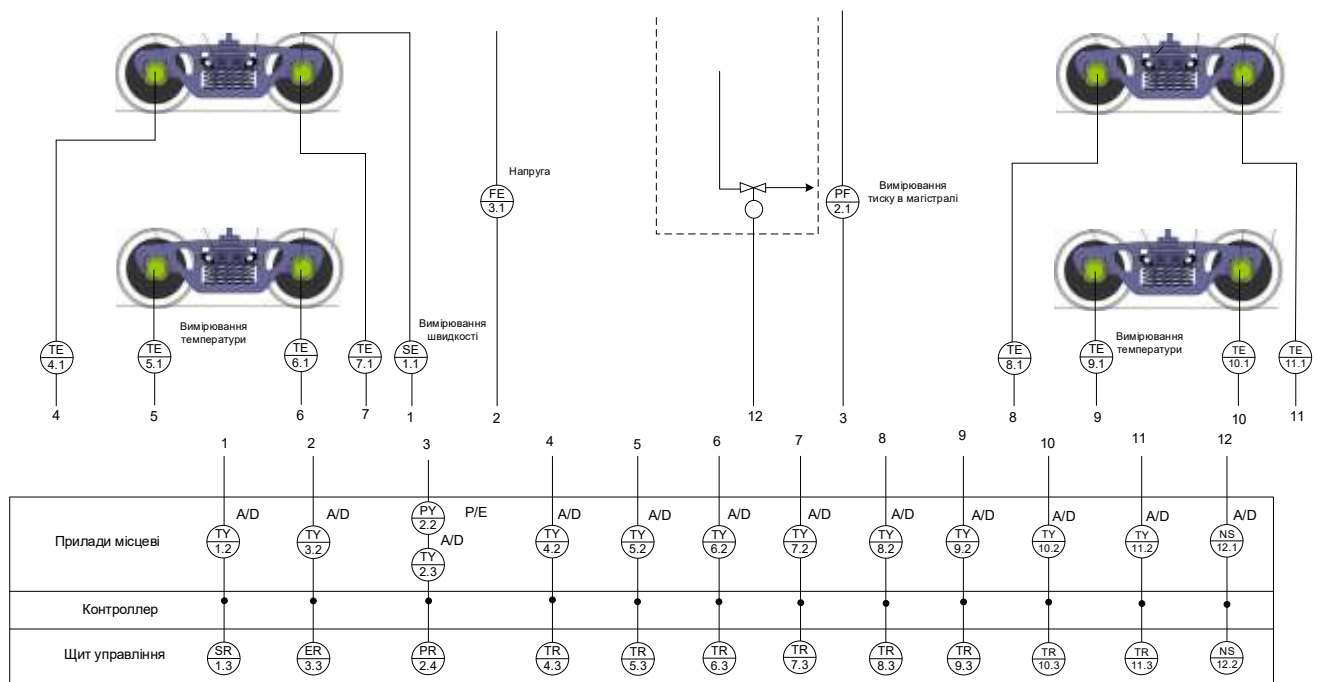


Рис. 2.1. Функціональна схема

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [5]

2.2 Вибір технічних засобів автоматизації

2.2.1 Вибір вимірювальних перетворювачів

Термодатчик контролю нагрівання буксового вузла. Термодатчик перегріву встановлюється зверху корпусу букси пасажирських вагонів і служить для контролю температури нагріву букси. Термодатчик входить в електричну схему сигналізації контролю нагрівання букс (СКИБ), що дозволяє постійно контролювати нагрів букс і попереджати аварії в результаті перегріву і руйнування роликових підшипників.

Технічні дані:

- Різьблення: М 16х1,5; L: 630 мм; Номінальна напруга струму: 50 В; Термодатчик забезпечує розмикання ел.цепі між токоведущими жилами кабелю при температурі $96^{\circ} \pm 4^{\circ} \text{C}$; Робоча температура навколишнього середовища від -60°C до $+55^{\circ} \text{C}$; Ресурс роботи термодатчика 20 тис.годи



Рис. 2.2. Датчик температури

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [6]

Таблиця 2.1

Технічні характеристики датчика тиску гальмової магістралі

Характеристика	Значення
Середовище	Повітря, вода, моторні та трансмісійні масла, вуглеводні, охолоджувальні рідини
Діапазон встановлення тиску	Спрацювання від 0.2 до 45 бар
Тиск розриву	100 бар
Температурний діапазон	від -30°C до 80°C
Тип контакту	Пряма дія, контакт леза, SPST NC, NO
Електричні параметри	120/240В~, 375ВА; 24В=, 2А
Ізоляційна міцність	750 Vrms через відкриті контакти, 1550 Vrms термінали для установки
Електричне підключення	#8-32 гвинти, 1/4" лезо
Релевантне навантаження	100 000 циклів
Приєднання до процесу	1/8NPT, G1/8", 1/4NPT, G1/4"
Опції	Різні з'єднання проводки; провід

2.2.2 Вибір виконавчих механізмів

Гальмування пасажирських вагонів відбувається за допомогою електропневматичного гальма. Робоча напруга відкриття клапана становить 50 В.

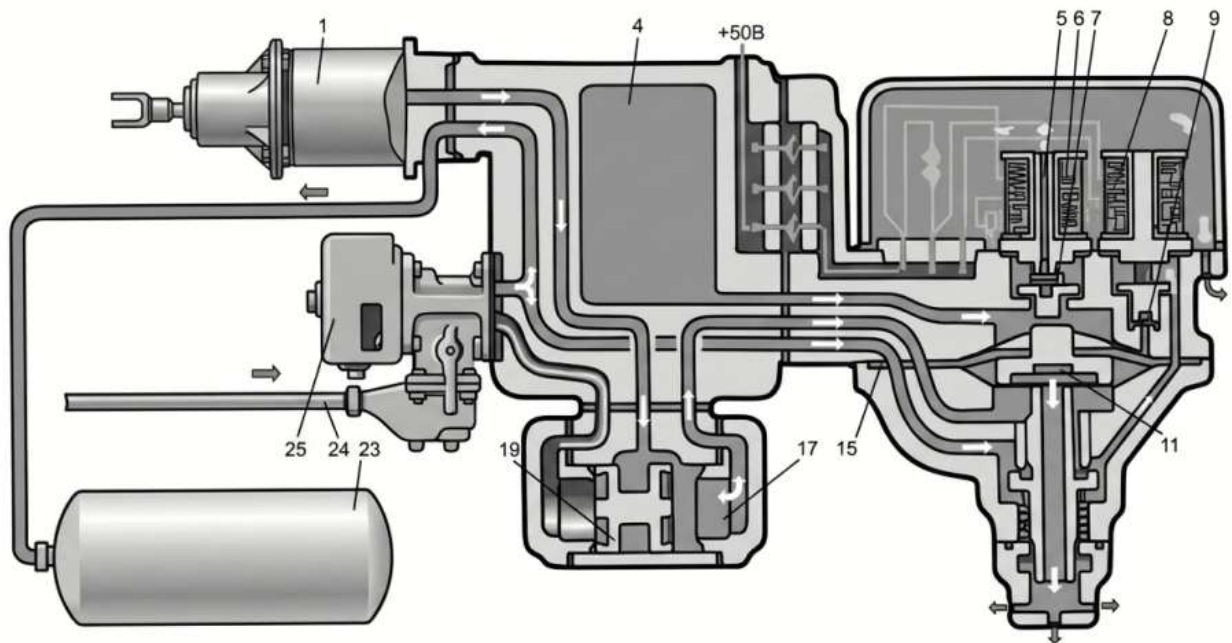


Рис. 2.3. Схема роботи повітряного розподільника з електропневматичним клапаном

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [6]

2.2.3 Вибір мікропроцесорних засобів

По каталогах виробників обчислювальної техніки, а також системам автоматизації обираємо контролер. Модуль аналогового вводу PCI 1373, з такими параметрами.

Таблиця 2.2

1. Модуль аналогового вводу РСІ 1373

Параметр	Значення
Кількість входних каналів	64
Джерела генерації переривань	4
Напруга гальванічної ізоляції	2500 В
Час спрацьовування оптоізолятора	25 мкс
Допустиме перевантаження по входу	70 В
Мінімальна входна напруга	3 В
Максимальна входна напруга	50 В

Споживання струму залежно від напруги на вході:

Споживання струму залежно від напруги на вході:

10 В: 1,7 мА

12 В: 2,1 мА

24 В: 4,4 мА

48 В: 9 мА

50 В: 9,4 мА

2.3 Розробка структурної схеми системи

Передаточні функції вимірювальних пристроїв для практичних розрахунків можливо представити у вигляді пропорційних ланок $W(p) = k \cdot 0$. В даній системі відсутній зворотний зв'язок по температурі, так як не передбачена її зміна а лише фіксація через датчики температури. Система складається з гальмової магістралі вагону, нормативний тиск в ній становить 5,0 кг/см². При зниженні тиску через електропневматичний клапан, який розташований в повітря-розподільнику за умовним номером 305-000, відбудеться гальмування рухомого складу. Тобто, система матиме два контури регулювання по швидкості та тиску в гальмовій магістралі. Етапу синтезу алгоритму управління технологічним об'єктом передуює процедура його ідентифікації, тобто математичного опису закономірностей, властивих об'єкту. Динамічні моделі ТОУ часто будуються на

підставі експериментальних досліджень реакції об'єкта на ступеневу вхідний вплив. Цей експериментальний метод визначення динамічних харак - теристик промислового об'єкта полягає в знятті кривої розгону (експериментальної перехідної функції) і наближення її рішенням лінійного диференціального рівняння з постійними коефіцієнтами. Для розрахунку параметрів настроювання регулятора проек - тируемой САУ необхідна передатна функція технологічного об'єкта по керуючому впливу. Існує велика кількість методик визначення параметрів шуканої моделі - коефіцієнтів диференціального рівняння або передатної функції досліджуваного технологічного об'єкта управління. Сила гальмування зароджується через повітрярозподільник в результаті розрідження тиску в гальмовій магістралі поїзда. В свою чергу стиснуте повітря з запасного резервуару поступає в гальмовий циліндр тиском 5 кг/см². Площа циліндра становить 298 см². Через систему ричагів гальмова сила притискає гальмівні колодки до обода колеса, що в свою чергу створює гальмування рухомого складу. Зміна швидкості поїзда відбувається з замедленням обумовленим інерційністю маси поїзда. Після зменшення швидкості руху поїзда до заданої потрібно перекрити витік повітря з гальмової магістралі, що в свою чергу приведе до зменшення гальмівної сили в циліндрі і відпустить колодки від обода колеса. Розглянемо процедуру визначення параметрів технологічного об'єкта управління по методу Орманса. Об'єкт управління враховуючи особливості розподілу тиску в гальмовій магістралі на гальмове обладнання та механіку зміни швидкості з надійною достовірністю можливо представити як аперіодична ланка першого порядку.

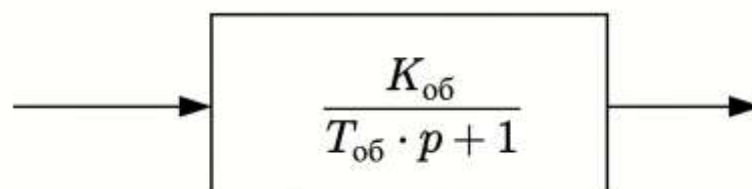


Рис. 2.4. Структура об'єкта управління

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [7]

Відповідно до Інструкції з ремонту гальмового обладнання ЦВ-ЦЛ-0013 розповсюдження гальмової хвилі повинно відбуватися в інтервалі не більше 4,5 с. Тому приймаємо за постійну часу $T = 4.5$ с

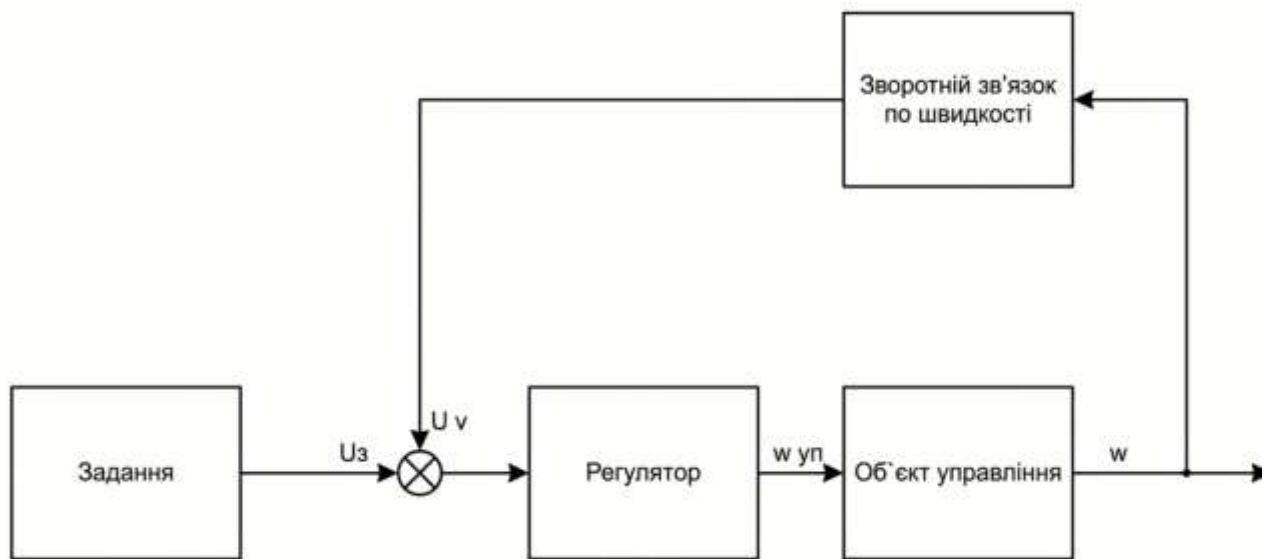


Рис. 2.5. Структура об'єкта управління

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [7]

Завдання на швидкість опрацьовується контролером, при цьому враховується параметр температури одного з восьми датчиків. При спрацюванні датчика визначається його температура, від значення температури буде залежати необхідна швидкість руху або повна зупинка. Система контролює значення тиску гальмової магістралі, та надає сигнал управління клапану на випуск стиснутого повітря. Відбувається процес гальмування. Після отримання значення швидкості необхідної в по завданню клапан закривається

2.4 Розробка принципової схеми системи

Для простоти та зрозумілості принципової схеми виконуватиметься з прокладкою жгутів управління

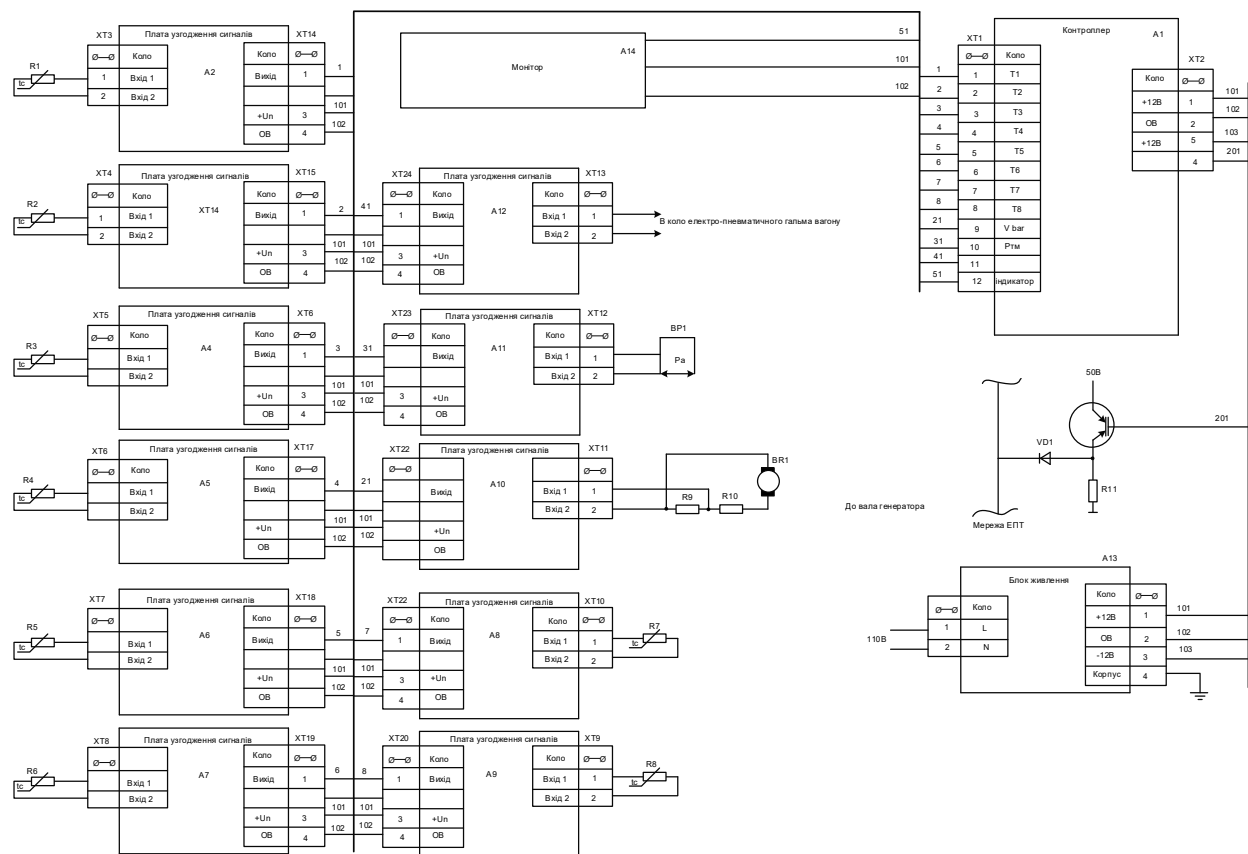


Рис. 2.6. Принципова схема управління

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [7]

Вводиться нумерація сигналів наступним чином:

Таблиця 2.3

Позначення сигналів в жгутах управління

Найменування сигналу	Позначення сигналів
Сигнали від узгоджуючи плати на контролер температурні	1-7
Сигнал від узгоджуючи плати на контролер швидкості руху	21
Сигнал від узгоджуючи плати на контролер тиску	31
Сигнал від узгоджуючи плати на контролер напрути в системі управління гальмом	41
Сигнал передачі даних на цифровий індикатор	51
Сигнал управління в магістраль поїзда	201
Живлення + 12 В	101
Живлення 0 В	102
Живлення - 12 В	103

До складу система входять плати узгодження рівнів сигналів та гальванічного роз'єднання: А2...А9 встановлені між позисторним датчиком температури та модулем вводу аналогових сигналів контролера. Призначається для формування сигналу температури в буксових вузлах; А10 плата узгодження рівнів сигналів між датчиком швидкості руху вагона та модулем вводу аналогових сигналів контролера. Призначається для формування сигналу швидкості руху вагона в поїзді; А11 плата узгодження рівнів сигналів між датчиком тиску в гальмовій магістралі вагона та модулем вводу аналогових сигналів контролера. Призначається для формування сигналу значення тиску в гальмовій магістралі вагону; А12 плата узгодження рівнів сигналів між колом електро-пневматичного гальма вагона та модулем вводу аналогових сигналів контролера. Призначається для формування сигналу напруги в колі управління електро пневматичним гальмом за умовним номером 305-000.

2.5 Моделювання системи та розробка алгоритму

2.5.1 Вибір регулятора і розрахунок його параметрів

У зв'язку з тим, що як правило, інерційність технологічних об'єктів значно перевищує інерційність інших функціонально-необхідних елементів вимірювальних пристроїв, виконавчих механізмів та регулюючих органів, проміжних перетворювачів тощо). Наявність переважаючої постійної часу одного з елементів схеми дозволяє знехтувати інерційністю інших функціонально-необхідних елементів, т. к. $T_{об} \gg T_{фзл}$ і тоді більшість (або всі) функціональні елементи (крім ГОУ) системи автоматичного управління можуть бути представлені безінерційними (пропорційними) ланками і їх опис зводиться до визначення коефіцієнта передачі кожного функціонального елемента. Система управління відпрацьовує сигнал зменшення швидкості. Враховуючи, що час зупинки вагону, або його зменшення швидкості не повинен швидко опрацьовуватися, за умови плавного гальмування, та постійну часу

гальмової магістралі $T_{об} = 4,5$ сек. оптимальним регулятором в даному випадку буде пропорційний, так як система гальмування враховуючи інерційну вагу рухомого складу сама надасть системі потрібні властивості. Визначити параметри П-регулятора для САУ, структурна схема якої приведена на рисунку 2.7. Перехідний процес в системі необхідно забезпечити монотонний без перерегулювання.

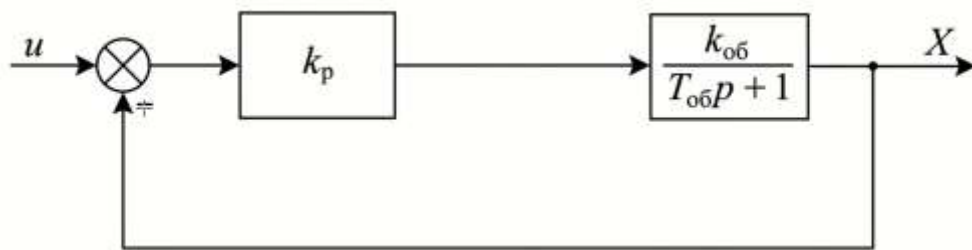


Рис.2.7. Структурна схем2.6 Заходи із охорони праці та безпеки

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [7]

На основі наданої вами структурної схеми (див. рис. 2.7) та параметрів об'єкта управління, проведемо аналіз передатних функцій системи.

Параметри об'єкта та регулятора

Передатна функція об'єкта:

$$W_{об}(p) = \frac{K_{об}}{T_{об} \cdot p + 1}, \text{ де } K_{об} = 140, \text{ а } T_{об} = 4,5 \text{ с.} \quad (2.1)$$

Передатна функція регулятора:

$$W_p(p) = \frac{K_p}{T_p \cdot p}. \quad (2.2)$$

Умова компенсації: Для підвищення швидкодії системи приймаємо $K_p = T_{об}$.

Розрахунок передатних функцій

При виконанні умови компенсації постійної часу об'єкта ($T_p = T_{об}$), передатна функція розімкнутої системи набуває вигляду:

$$W_{розм}(p) = W_p(p) \cdot W_{об}(p) = \frac{K_p}{T_p \cdot p} \cdot \frac{K_{об}}{T_{об} \cdot p + 1} \quad (2.3)$$

$$W_{розм}(p) = \frac{K_p \cdot K_{об}}{T_p \cdot p \cdot (T_{об} \cdot p + 1)} = \frac{K_p \cdot K_{об}}{T_p \cdot p} \text{ (після компенсації)} \quad (2.3)$$

$$W_{зам}(p) = \frac{W_{розм}(p)}{1 + W_{розм}(p)} \quad (2.4)$$

$$W_3(p) = \frac{W_{рег}(p)W_o(p)}{1 + W_{рег}(p)W_o(p)} = \frac{630}{4,5p + 631} \quad (2.5)$$

Враховуючи, що $K_p = T_{об}$, система стає значно швидшою, оскільки ми усунули астатизм першого порядку, пов'язаний з інерційністю об'єкта.

Аналіз коренів: Характеристичне рівняння системи має дійсні корені, що означає монотонний характер перехідного процесу без перерегулювання.

Передатна функція регулятора: У даному випадку вона прийнята як стала величина $W_{рег}(p) = 4,5$.

Оцінка якості перехідного процесу

Для практичної оцінки якості функціонування системи рекомендується подати на її вхід одиночний скачкоподібний сигнал (ступінчасту функцію). Це дозволить проаналізувати реакцію системи у часовій області, зокрема визначити час встановлення та сталу похибку.

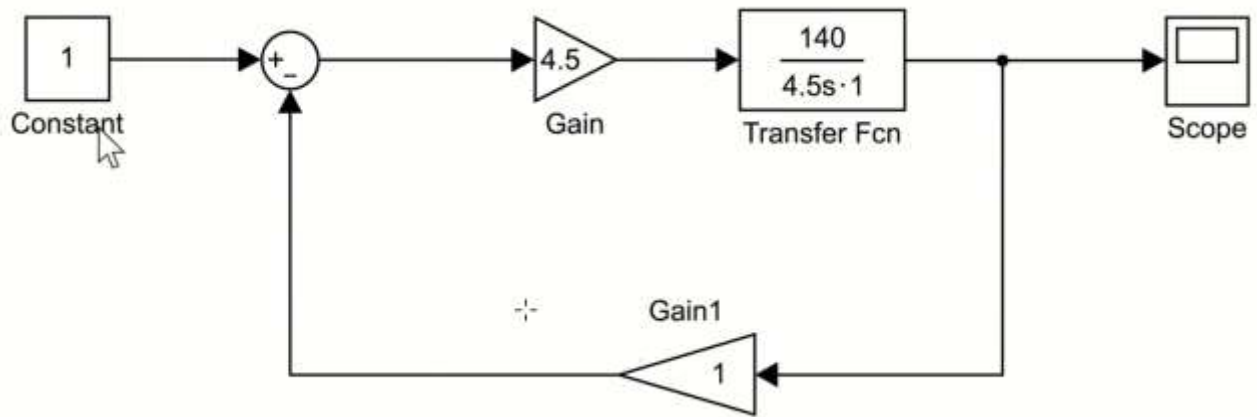


Рис.2.7. Схема моделювання

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [7]

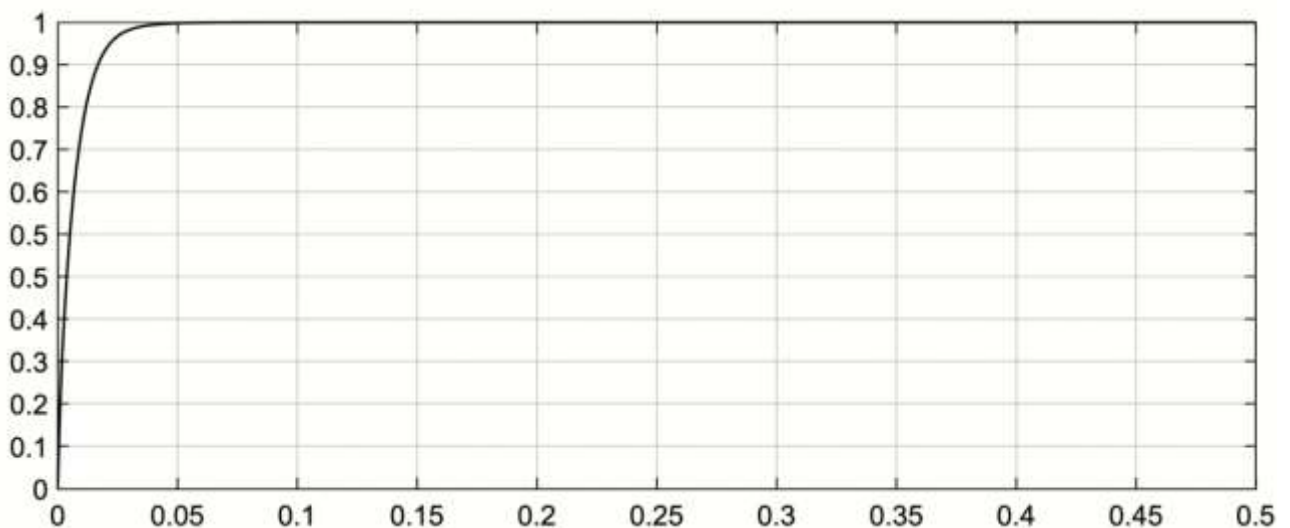


Рис.2.8. Результат моделювання системи

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [7]

2.6 Розрахунок надійності системи

Згідно з критерієм Найквіста, замкнута система буде стійка у тому випадку, якщо стійка розімкнена система та її амплітудно-фазова характеристика (АФЧХ) не охоплює точку комплексній площині з координатами $(-1; 0j)$. Крива представляє частотну характеристику стійкої системи, перетинається з віссю

абсцис праворуч від точки $(-1; j0)$ і називається (АФЧХ) першого роду. Крива, перетинається з віссю абсцис і праворуч і ліворуч від точки $(-1; j0)$, називається (АФЧХ) другого роду. В цьому випадку система в розімкнутому стані буде стійкою за умови, якщо різниця між числом позитивних (зверху вниз) й негативні (знизу вгору) переходів (АФЧХ) через вісь абсцис зліва від точки $(-1; j0)$ дорівнює нулю. При аналізі стійкості системи (АФЧХ) доцільно ввести поняття запасу стійкості за модулем і фазою. Визначити стійкість САУ методом Найквіста. Передатна функція системи і її параметри мають вигляд: $K_{об}=140$, $T_{об}=4,5с$.

$$W(p) = W_{пер}(p)W_o(p) = \frac{K_p K_{об}}{T_{об}p + 1} \quad (2.6)$$

$$W(\omega) := \frac{K}{T \cdot i \cdot \omega + 1} \quad (2.7)$$

$$U(\omega) := \text{Re}(W(\omega)) \quad V(\omega) := \text{Im}(W(\omega)) \quad \omega := 0, 0.01 \dots 2000 \quad (2.8)$$

Графік амплітудно-фазової характеристики системи має вигляд:

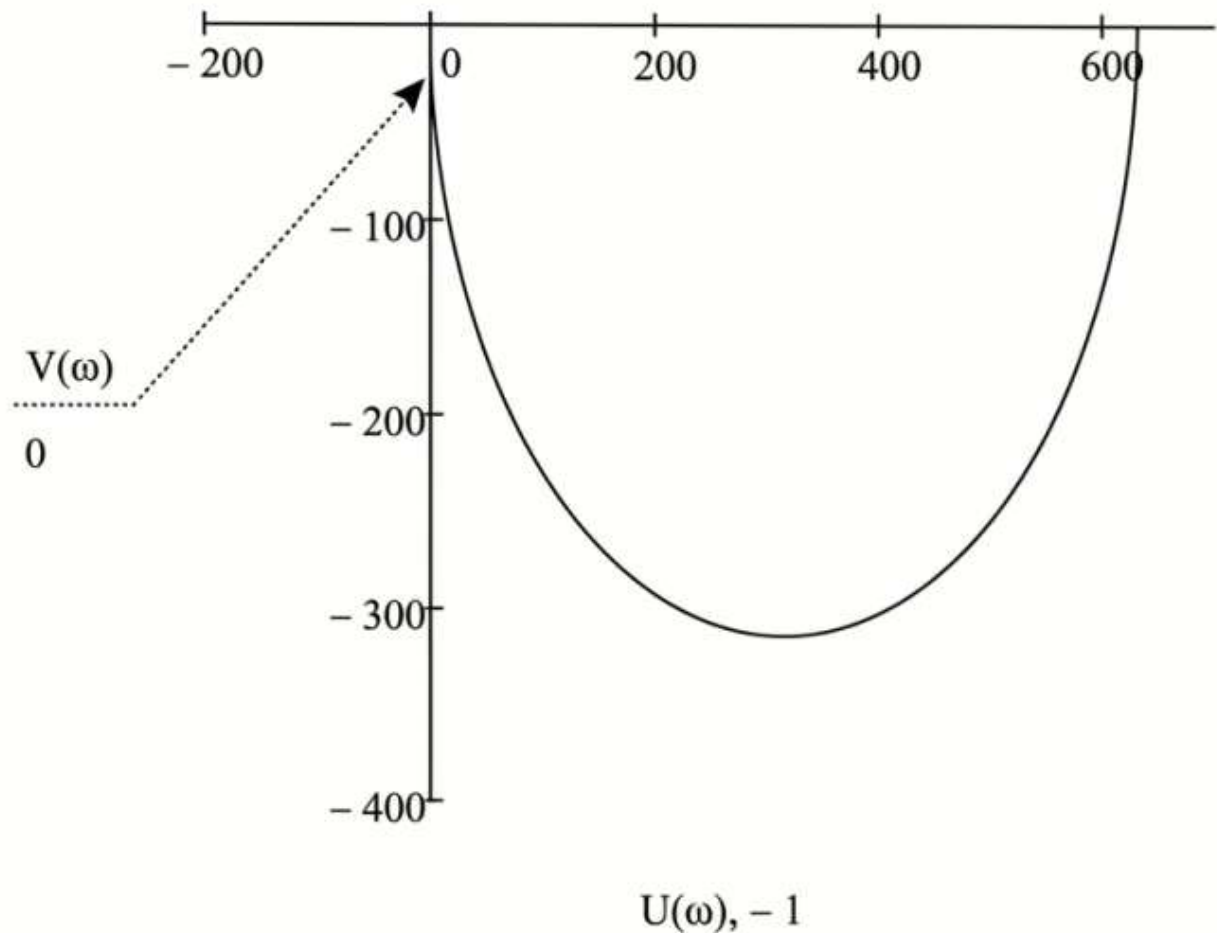


Рис.2.9. Графік амплітудно-фазової характеристики

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [7]

Висновок: Дослідження стійкості лінійної СЛУ з використанням критерію Найквіста показало, що дана система є стійкою

2.7 Розробка алгоритму функціонування системи

Алгоритм передбачає постійний контроль температури букс вагону. При відсутності перегріву система в циклі можливого настання події. Якщо відбувся перегрів букс система визначає ступінь перегріву. Після чого надається сигнал управління на відкривання електропневматичного клапану повітрярозподільника. В циклі у зв'язку з особливостями гальмівної системи

рухомого складу та її інерційності від мас вагону контролюємо швидкість вагону. По настанню заданої швидкості закриваємо електропневматичний клапан. Цикл роботи закінчено, після чого розпочинаємо новий цикл роботи системи

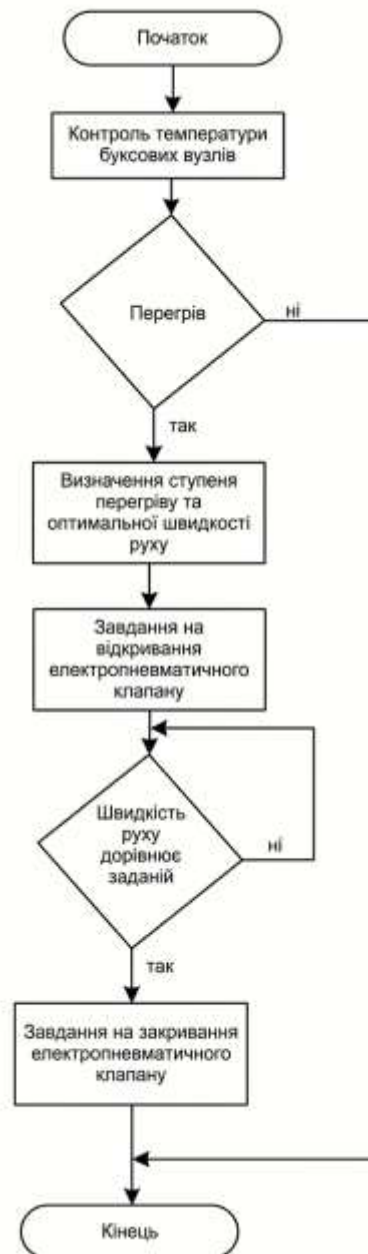


Рис.2.10. Алгоритм функціонування системи

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [7]

2.8 Заходи із охорони праці та безпеки життєдіяльності

2.8.1 Аналіз виробничих чинників під час експлуатації систем контролю нагріву букс

Технічне обслуговування обладнання для моніторингу температури букс супроводжується специфічним впливом на персонал, що зумовлено роботою в умовах діючої залізничної інфраструктури. Основні ризики пов'язані з електричними, механічними та кліматичними чинниками.

Електробезпека є ключовим аспектом, оскільки електронні контролери та плати узгодження рівнів сигналів живляться від бортової мережі вагона. Виконання робіт з налаштування або ремонту плат А2 А9 створює ймовірність ураження електричним струмом при порушенні цілісності ізоляції кабельних джгутів управління. Додатковий ризик виникає під час монтажу датчиків швидкості руху та тиску, що інтегровані безпосередньо в гальмову магістраль.

Механічні чинники зумовлені динамічним характером роботи залізничного транспорту. Вібраційні навантаження на елементи системи контролю температури підвищують імовірність розгерметизації кріплень позисторних датчиків. При фізичному контакті з підвагонним обладнанням існує загроза травмування об гострі елементи конструкції колісних пар.

Шкідливі кліматичні впливи проявляються через тривале перебування обслуговуючого персоналу на відкритих майданчиках депо. Робота при екстремальних температурах навколишнього середовища, високій вологості або під час атмосферних опадів знижує концентрацію уваги, що підвищує ризик помилкових дій при технічному налаштуванні А10 або А12.

Психофізіологічні чинники зумовлені високим рівнем шуму та інфразвуку під час руху поїзда. Постійний акустичний тиск при огляді вузлів, що перебувають у робочому стані, призводить до швидкої втомлюваності. Додаткове навантаження на зір створюється через необхідність роботи з

цифровими індикаторами в умовах низької або контрастної освітленості, що притаманно для оглядових каналів депо.

Ергономічні показники робочих місць під час ремонту системи часто не відповідають нормам через обмежений простір під вагоном. Це змушує персонал приймати вимушені пози, що викликає статичне навантаження на м'язи та хребет. Комбінована дія зазначених чинників вимагає впровадження автоматизованих процедур діагностики, які мінімізують час перебування оператора безпосередньо біля джерел небезпеки.

2.8.2 Засоби зниження дії небезпечних і шкідливих виробничих чинників

Ефективність захисту персоналу при обслуговуванні апаратури контролю нагріву букс базується на інтеграції засобів автоматизації та інженерних рішень у конструкцію вагона. Пріоритетним завданням є виключення необхідності прямого контакту людини з небезпечними зонами під час експлуатації системи. Електробезпека досягається використанням плат гальванічної розв'язки A2 A12, які забезпечують розділення високовольтних кіл живлення та низьковольтних сигнальних ліній. Застосування герметичних роз'ємів з підвищеним ступенем захисту IP67 у кабельних джгутах унеможливорює потрапляння вологи на контакти, що мінімізує ризик короткого замикання та пробоя на корпус вагона. Всі металеві корпуси контролерів підлягають обов'язковому заземленню на раму вагона, що гарантує відведення потенціалу при виникненні аварійних режимів. Механічний захист забезпечується застосуванням вібростійкого кріплення для позисторних датчиків температури та перетворювачів тиску. Впровадження захисних кожухів на елементи колісних пар, що розміщені поблизу точок монтажу системи, запобігає випадковому травмуванню персоналу під час оглядових операцій. Конструктивні елементи кріплення розроблені таким чином, щоб демонтаж датчика швидкості або тиску не потребував застосування значних фізичних зусиль або специфічного слюсарного інструменту.

Кліматичний захист реалізується через розміщення основних вузлів обробки сигналів у герметичних монтажних шафах з кліматичним виконанням УХЛ1. Це обладнання гарантує стабільну роботу електроніки при температурних коливаннях від -50 до +60 градусів, виключаючи необхідність частого втручання оператора для коригування параметрів. Для роботи в умовах депо передбачено використання мобільних діагностичних комплексів, що підключаються до системи через інтерфейсні роз'єми, дозволяючи персоналу перебувати на безпечній відстані від рухомих частин.

Ергономічні ризики знижуються за рахунок винесення інформації на цифрові індикатори, які мають адаптивне підсвічування. Автоматизація процедур діагностики, описана в алгоритмі функціонування системи, дозволяє оператору отримувати дані про перегрів букс без проведення ручних вимірювань під вагоном. Це радикально скорочує час перебування працівника в зоні підвищеного шуму та вібрації. Використання стандартизованих модулів вводу аналогових сигналів спрощує процес заміни несправних вузлів, що зменшує тривалість статичних навантажень на тіло працівника під час ремонтних робіт.

2.8.3 Електробезпека під час технічної експлуатації системи контролю нагріву

Експлуатація апаратури моніторингу температури букс у залізничних умовах вимагає суворого дотримання протоколів обслуговування, оскільки система інтегрована в бортову мережу вагона. Основним джерелом небезпеки є потенціал живлення 12 В (ланцюги 101, 102, 103), що при порушенні цілісності ізоляції кабельних джгутів створює ризик неконтрольованого замикання.

Захист персоналу від ураження електричним струмом базується на принципах гальванічної ізоляції, реалізованої на платах А2-А9 та А10-А12. Застосування цих вузлів дозволяє фізично розділити силові ланцюги вагона та цифрові входи контролера, що виключає передачу небезпечного потенціалу на елементи, до яких має доступ обслуговуючий персонал. Всі комутаційні вузли

обладнані герметичними роз'ємами з індексом захисту IP67, що запобігає проникненню вологи - головного фактора зниження опору ізоляції та виникнення струмів витоку.

Під час виконання профілактичних робіт обов'язковим є використання інструментів з діелектричним покриттям, що відповідає класу напруги до 1000 В. Корпуси модулів вводу аналогових сигналів, у які інтегровані плати узгодження, надійно з'єднані з рамою вагона за допомогою жорстких мідних провідників. Це забезпечує вирівнювання потенціалів та автоматичне спрацювання систем захисту при пробіі ізоляції на металеві частини конструкції.

Особлива увага приділяється обслуговуванню ланцюгів датчиків температури та швидкості (сигнали 1-7, 21), які проходять у місцях з підвищеною вібрацією. Регулярна інспекція кабельних каналів на предмет механічних пошкоджень ізоляції є ключовим заходом запобігання пожежонебезпечним режимам. У разі виявлення дефектів ізоляції, відновлення працездатності системи здійснюється лише після повного знеструмлення відповідної ділянки бортової мережі вагона через відповідні автоматичні вимикачі.

Технічне налаштування системи, що передбачає підключення зовнішніх діагностичних пристроїв, дозволено проводити тільки при вимкненому живленні контролера. Доступ до внутрішніх плат узгодження (A10, A11, A12) дозволено лише кваліфікованому персоналу, який пройшов інструктаж з роботи з мікропроцесорною технікою, що чутлива до статичної електрики та помилок у полярності живлення.

2.8.4 Безпека експлуатації системи автоматичного моніторингу температури букс

Процес експлуатації системи контролю нагріву букс вимагає інтегрованого підходу до безпеки, оскільки технічне обслуговування апаратури відбувається в умовах діючої інфраструктури залізничного транспорту. Безпека персоналу

безпосередньо залежить від коректної взаємодії із модулями збору даних та вузлами узгодження рівнів сигналів.

Технічні заходи забезпечення безпеки.

Гальванічна розв'язка. Всі плати узгодження сигналів типу А2-А9 (температурні) та А10-А12 (швидкості та тиску) забезпечують фізичне розділення низьковольтних ланцюгів контролера та силових кіл вагона. Це виключає ризик потрапляння високого потенціалу на зовнішні інтерфейси системи, до яких має доступ обслуговуючий персонал. Інтеграція в бортову мережу. Використання стандартних сигнальних ліній (101, 102, 103) для живлення модулів потребує застосування засобів захисту від перенапруги на етапі монтажу кабельних джгутів. Будь-яка маніпуляція з роз'ємами систем повинна виконуватися виключно після підтвердження відсутності напруги на відповідній ділянці магістралі. Моніторинг стану. Автоматизований алгоритм роботи системи, передбачений рисунком 2.10, мінімізує потребу в ручному обході поїзда оператором. Зниження частоти перебування людини безпосередньо біля буксових вузлів під час руху або зупинок значно зменшує ймовірність травмування механічними частинами колісних пар. Ергономіка діагностики. Дистанційний вивід інформації про стан температурного режиму буксових вузлів на цифрові індикатори виключає необхідність використання переносних пірометрів. Це дозволяє персоналу уникати роботи в небезпечних зонах депо, де існує ризик контакту з рухомими елементами вагона. Захист від несправностей. У разі виникнення помилок у колах ЕПГ (електропневматичного гальма), плата А12 миттєво формує сигнал про напругу 305-000, що дозволяє системі автоматично перейти в безпечний режим функціонування без втручання оператора. Вимоги до кваліфікації та інструментарію: Обслуговування плат узгодження (А2-А12) дозволено лише особам, які ознайомлені з методикою програмування аналогових модулів контролера та мають відповідний допуск до робіт з бортовим електрообладнанням. Використання нештатних діагностичних пристроїв для підключення до шин передачі даних (сигнал 51) заборонено, оскільки це може спричинити збої в алгоритмі управління електропневматичним

клапаном. Усі ремонтні роботи, що передбачають демонтаж датчиків температури, виконуються з обов'язковим блокуванням гальмівної системи вагона, що запобігає випадковому спрацюванню пневматичних механізмів.

2.8.3 Забезпечення пожежної безпеки під час експлуатації системи моніторингу

Пожежна небезпека при функціонуванні системи автоматичного контролю нагріву зумовлена наявністю електричних кіл, прокладених у безпосередній близькості до вузлів тертя та гальмівного обладнання вагона. Ризики виникнення займання виникають через порушення ізоляції кабельних ліній (101, 102, 103) внаслідок постійних вібраційних та термічних навантажень під час руху поїзда. Критичні зони та заходи запобігання. Локалізація джерел займання: Основними зонами підвищеного ризику є місця проходження джгутів управління через металеві перегородки рами вагона. Застосування втулок із негорючих полімерних матеріалів запобігає перетиранню ізоляції та виникненню короткого замикання, яке є основним чинником займання дротів. Термічна стійкість модулів. Вузли обробки сигналів (плати А2-А9, А10-А12) розміщені в металевих герметичних шафах, які виконують функцію локалізаторів полум'я у разі внутрішнього аварійного перегріву компонентів електроніки. Корпус шафи розрахований на утримання продуктів горіння всередині, що перешкоджає поширенню вогню на інші елементи підвагонного простору. Автоматичний контроль стану. Алгоритм роботи системи, що реалізує безперервний моніторинг температури букс (рис. 3.5), відіграє роль превентивної протипожежної системи. Своєчасне виявлення критичного нагріву (перегріву) дозволяє автоматично змінити режим руху або зупинити склад до моменту загоряння мастильних матеріалів у буксовому вузлі. Електротехнічна ізоляція. Усі комутаційні вузли виконані на базі роз'ємів із показником вогнестійкості згідно зі стандартами ДСТУ. Це мінімізує імовірність розповсюдження вогню по ланцюгах живлення навіть при короточасному впливі високих температур від гальмівних колодок. Порядок дій персоналу. У

разі виявлення ознак пошкодження кабельних ліній або наявності запаху горілої ізоляції, оператор зобов'язаний негайно знеструмити відповідну секцію бортової мережі вагона за допомогою автоматичного вимикача, розташованого в монтажній шафі. Технічне обслуговування системи передбачає обов'язкову щорічну перевірку цілісності захисних рукавів кабельних джгутів, оскільки накопичення мастильного пилу та залишків паливно-мастильних матеріалів на них створює додаткове палне середовище.

ВИСНОВКИ

Випускна робота передбачає автоматизацію системи контролю за нагрівом букс пасажирських вагонів з їх наступним плавним гальмуванням. Існуючі недоліки діючого устаткування: в даний час контролю відбувається за допомогою системи людина-машина, як при спрацюванні системи контролю спрацьовує дзвінок перегріву букс та провідник пасажирського вагону в ручному режимі зриває стоп-кран. Виконуючи випускну роботу була запроєктована система автоматичного визначення перегріву буксових вузлів вагонів з подальшим приведенням гальм рухомого складу в дію. В процесі роботи було зроблено наступне: розглянуто існуючі методи контролю нагріву букс, розроблено функціональну схему автоматизації процесу контролю нагріву букс, обрано необхідні датчики та контролер, виконано моделювання реакції системи на одиночний стрибок завдання сигналу, розроблено алгоритм роботи системи.

У межах проведеної роботи розроблено та обґрунтовано концепцію системи автоматичного контролю нагріву вагонних букс, яка дозволяє підвищити безпеку руху залізничного транспорту шляхом впровадження превентивної діагностики вузлів тертя.

Аналіз умов експлуатації підтвердив, що існуючі методи ручного огляду мають обмежену ефективність через людський фактор та динамічний характер навантажень на колісні пари. Пропонована автоматизована система мінімізує ризики за рахунок безперервного моніторингу температури позисторними датчиками, інтегрованими безпосередньо в буксові вузли.

Теоретичний аналіз передатної функції системи показав, що при параметрах $K_{об}=140$ та $T_{об}=4,5$ с, використання регулятора з передатною функцією $W_p(p) = 4,5$ дозволяє здійснити компенсацію інерційності об'єкта. Це забезпечує високу швидкодію системи, що підтверджено результатами моделювання перехідних процесів: система виходить на сталий режим без перерегулювання.

Розроблений алгоритм функціонування забезпечує повну автоматизацію циклу: від детекції перегріву до формування команд на відкриття

електропневматичних клапанів. Таке технічне рішення виключає необхідність безпосереднього втручання оператора в критичних режимах руху.

Частотний аналіз амплітудно-фазової характеристики довів стійкість замкненої системи в робочому діапазоні частот. Отримані графічні залежності свідчать про те, що система зберігає працездатність при заданих параметрах підсилення, незважаючи на зовнішні збурення. Оцінка небезпечних і шкідливих виробничих чинників продемонструвала, що впровадження запропонованої системи сприяє покращенню умов праці персоналу депо. Завдяки технічним засобам захисту - таким як гальванічна розв'язка сигналів на платах А2-А12 та герметичне виконання монтажних шаф - досягнуто суттєвого зниження ризиків ураження електричним струмом та впливу несприятливих кліматичних факторів.

Економічна доцільність впровадження розробки підтверджується зменшенням часу простою вагонів на діагностику та мінімізацією імовірності аварійних зупинок поїздів через заклинювання колісних пар. Автоматизація контролю нагріву створює базу для переходу від стратегії обслуговування "за регламентом" до стратегії обслуговування "за фактичним станом", що оптимізує експлуатаційні витрати залізничного підприємства.

Таким чином, розроблена система відповідає сучасним вимогам до засобів безпеки на залізничному транспорті, є стійкою до зовнішніх збурень та забезпечує надійний моніторинг критичних вузлів вагона в автоматичному режимі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Інструкція з ремонту гальмового обладнання вагонів ЦВ-ЦЛ-0013. Київ: Транспорт, 1998. 256 с.
2. Бабников А. М., Гурський П. А., Новіков О. П., Т. І. Тяга поїздів та тягові розрахунки. Транспорт, 1971. 352 с.
3. Малихін А. П. Гальмове обладнання вагонів. Київ: Транспорт, 2007. 280 с.
4. Некрасов В. І. Технічне обслуговування буксових вузлів вагонів: Транспорт, 1990. 192 с.
5. Богданович В. Б., Второв А. К. Посібник з обслуговування гальм вагонів. Транспорт, 1981. 214 с.
6. Артюшин Л. М., Машков О. А., Дурняк Б. В., Сісов М. С. Теорія автоматичного керування. Львів: Видавництво, 2004. 310 с.
7. Герман-Галкін С. Г. Комп'ютерне моделювання напівпровідникових систем у MATLAB 6.0: Навчальний посібник. КОРОНА принт, 2001. 320 с.
8. Моделювання електромеханічних систем: Навчальний посібник. А. П. Чорний, А. В. Луговий, Д. І. Родькін, А. В. Садовий, Г. Ю. Шеюк. Кременчук: ПП Щербатих, 1999. 204 с.
9. Комплекс технічних засобів модернізований (КТСМ): керівництво з експлуатації та технічного обслуговування. К.: Укрзалізниця, 2022. 145 с.
10. Петренко В. І., Іванов О. С. Автоматизовані системи діагностики рухомого складу в реальному часі. *Залізничний транспорт України*. 2024. № 2. С. 22-28.
11. Kovalenko I., et al. Infrared thermography application for railway axle box monitoring: A review // *Journal of Rail Transport Planning & Management*. 2023. Vol. 28. [URL: <https://doi.org/10.1016/j.jrtpm.2023.100412>]
12. ДСТУ EN 15437-1:2018. Залізничний транспорт. Обладнання для моніторингу стану букс. Загальні вимоги. К.: ДП «УкрНДНЦ», 2019.
13. Сидоренко А. В. Методи та засоби безконтактного вимірювання температури букс у русі. *Вісник Дніпровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна*. 2023. Вип. 4 (82). С. 50-57.

14. Smith J., et al. Predictive maintenance strategies for railway rolling stock using IoT sensor networks // IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. – 2022. – Vol. 23, No. 11. – [URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9765432>]
15. Харченко О. М. Експлуатація та ремонт гальмівного та буксового обладнання вагонів: Підручник. Харків: УкрДУЗТ, 2021. 320 с.
16. Automatic Train Control Systems and Safety Protocols. UIC (International Union of Railways) Technical Report, 2025. [Режим доступу: <https://uic.org/rail-safety/technologies>]
17. Моделювання теплових процесів у буксових вузлах: Навчальний посібник. А. П. Чорний, Д. І. Родькін, А. В. Садовий. Кременчук: ПП Щербатих, 2005.



Метадані

ДОКУМЕНТ

Заголовок

151-63-2026врб

Автор

151-63-2026врб

Науковий керівник / Експерт

Модло Є.О.

ІД документа

334292897

ОРГАНІЗАЦІЯ

Назва організації

STATE UNIVERSITY OF ECONOMICS AND TECHNOLOGY

Підрозділ

STATE UNIVERSITY OF ECONOMICS AND TECHNOLOGY

ЗВІТ

Дата звіту

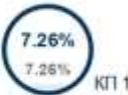
6/12/2026

Дата редагування

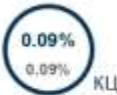
—

Обсяг знайдених подібностей

Коефіцієнт подібності визначає, який відсоток тексту по відношенню до загального обсягу тексту було знайдено в різних джерелах. Зверніть увагу, що високі значення коефіцієнта не автоматично означають плагіат. Звіт має аналізувати компетентна / уповноважена особа.



7373
Кількість слів



56970
Кількість символів

Тривога

У цьому розділі ви знайдете інформацію щодо текстових спотворень. Ці спотворення в тексті можуть говорити про МОЖЛИВІ маніпуляції в тексті. Спотворення в тексті можуть мати навмисний характер, але частіше характер технічних помилок при конвертації документа та його збереженні, тому ми рекомендуємо вам підходити до аналізу цього модуля відповідально. У разі виникнення запитань, просимо звертатися до нашої служби підтримки.

Заміна букв		0
Інтервали		0
Мікропробіли		0
Білі знаки		0
Парафрази (SmartMarks)		28

Джерела

Нижче наведений список джерел. В цьому списку є джерела із раних баз даних. Копію тексту означає в якому джерелі він був знайдений. Ці джерела і значення Коефіцієнту Подібності не відображають прямого плагіату. Необхідно відкрити кожне джерело і проаналізувати зміст і правильність оформлення джерела.

10 найдовших фраз		Копія тексту
#	НАЗВА ТА АДРЕСА ДЖЕРЕЛА URL (НАЗВА БАЗИ)	ВІЛЬНОСТЬ (ІДЕНТИЧНИХ СЛІВ (ФРАГМЕНТІВ))
1	https://refs.co.ua/71981-Vagon.html	78 (1.06 %)

ЗГОДА здобувача освіти Державного університету економіки і технологій про
перевірку кваліфікаційної роботи на прояви академічного плагіату
та розміщення в Репозитарії ДУЕТ

Я, Ляшенко Тетяна Олександрівна, підтримую політику Державного університету економіки і технологій з академічної доброчесності і відкритого доступу. Стверджую, що кваліфікаційна бакалаврська робота «Автоматизація залізничного транспорту. Система автоматичного контролю нагріву вагонних букс» виконана самостійно та не містить академічного плагіату. Я не надавала і не одержувала недозволену допомогу під час підготовки цієї роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають покликання на відповідне джерело.

Із чинним Положенням про запобігання та виявлення академічного плагіату в роботах здобувачів вищої освіти Державного університету економіки і технологій ознайомена. Чітко усвідомлюю, що в разі виявлення у кваліфікаційній роботі порушення норм академічної доброчесності робота не допускається до захисту або оцінюється незадовільно.

Також я поінформована, що відповідно до пункту 5.8 «Положення про Репозитарій (електронну базу даних) Державного університету економіки і технологій» згадана робота буде розміщена в Електронному архіві Університету (Репозитарії ДУЕТ) та ознайомена з умовами такого розміщення.

Дата 01.06.2026

Підпис