

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
імені Володимира Даля
КАФЕДРА ЗАЛІЗНИЧНОГО, АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ ТА
ПІДЙОМНО-ТРАНСПОРТНИХ МАШИН**

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ ВИПУСКНОЇ РОБОТИ БАКАЛАВРА
НА ТЕМУ:**

**«Система автоматизованого керування пневматичним гальмом
вантажного поїзда»**

Обсяг роботи: - графічна частина – 10 слайдів;
- пояснювальна записка – 59 с.

**Студент групи ЗТ-22д
Керівник роботи**

**Сопін І. О.
к.т.н. Ковтанець М. В.**

Київ 2026

СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ

Навчально-науковий інститут транспорту і будівництва
(повне найменування інституту, факультету)

Кафедра залізничного, автомобільного транспорту та підйомно-транспортних машин
(повна назва кафедри)

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до кваліфікаційної випускної роботи

освітній ступінь	<u>бакалавр</u> (бакалавр, магістр)
спеціальність	<u>273 Залізничний транспорт</u> (шифр і назва спеціальності)
спеціалізація	<u>Локомотиви та локомотивне господарство</u> (назва спеціалізації)

**на тему «Система автоматизованого керування пневматичним гальмом
вантажного поїзда»**

Виконав: студент групи ЗТ-22д	_____	<u>Сопін І. О.</u>
	(підпис)	(ініціали і прізвище)
Керівник	_____	<u>Ковтанець М. В.</u>
	(підпис)	(ініціали і прізвище)
Завідувач кафедри	_____	<u>Климаш А. О.</u>
	(підпис)	(ініціали і прізвище)
Рецензент	_____	_____
	(підпис)	(ініціали і прізвище)

Київ - 2026

СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ

Навчально-науковий інститут транспорту і будівництва
(повне найменування інституту, факультету)

Кафедра залізничного, автомобільного транспорту та підйомно-транспортних машин
(повна назва кафедри)

Освітній ступінь бакалавр
(бакалавр, магістр)

спеціальність 273 Залізничний транспорт
(шифр і назва спеціальності)

спеціалізація Локомотиви та локомотивне господарство
(назва спеціалізації)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

“ ____ ” _____ 20 ____ року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ ВИПУСКНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Сопін Ігор Олексійович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи **«Система автоматизованого керування пневматичним гальмом вантажного поїзда»**

Керівник роботи Ковтанець Максим Володимирович, к.т.н., доцент,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджений наказом університету від “ ____ ” _____ 20 ____ року № ____

2. Строк подання студентом роботи 12 червня 2026 року

3. Вихідні дані до роботи: Схеми наповнення пневматичних гальм локомотива. Автоматичне керування пневматичним гальмом вантажного поїзда. Мікропроцесорні системи автоведення електрорухомого складу.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): 1. Огляд і аналіз виконаних робіт в області дослідження. 2. Аналіз підходів у сфері ідентифікації параметрів технічних об'єктів. 3. Математична модель системи автоматичного управління пневматичним гальмом. 4. Робота системи автоматичного управління пневматичним гальмом.

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

- | | |
|--|---------|
| 1. Мета, об'єкт та задачі дослідження | - 2 сл. |
| 2. Вантажооборот залізничного транспорту за роками | - 1 сл. |
| 3. Функціональна схема системи автоматичного управління пневматичними гальмами вантажного поїзда | - 1 сл. |
| 4. Спрощена схема гальмівної системи поїзда | - 1 сл. |
| 5. Режим роботи потрібного клапана | - 1 сл. |
| 6. Розрахункова схема моделі поїзда та функціональна схема САУ | - 2 сл. |
| 6. Результати дослідження | - 1 сл. |
| 7. Висновки | - 1 сл. |

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання «16» березня 2026 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання кваліфікаційної випускної роботи	Строк виконання етапів	Примітка
1	Вступ. Актуальність проблеми. Постановка задачі дослідження, обґрунтування об'єкту дослідження		
2	Огляд і аналіз виконаних робіт в області дослідження		
3	Аналіз підходів у сфері ідентифікації параметрів технічних об'єктів		
4	Математична модель системи автоматичного управління пневматичним гальмом		
5	Робота системи автоматичного управління пневматичним гальмом		
6	Представлення результатів дослідження		
7	Підготовка ілюстративного матеріалу до захисту кваліфікаційної випускної роботи		
8	Пояснювальна записка до кваліфікаційної випускної роботи		

Студент

_____ Сопін І. О.
(підпис) (ініціали і прізвище)

Керівник роботи

_____ Ковтанець М. В.
(підпис) (ініціали і прізвище)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна випускна робота: 59 с., 28 рис., 17 бібл. назв,
10 слайдів.

Ключові слова: система автоматичного управління, гальмівна система,
швидкість руху, безпека руху, автоматизація.

Робота присвячена системам автоматичного управління (САУ) пневматичним гальмом вантажного поїзда та підвищенню безпеки руху поїздів внаслідок застосування цих систем з функцією ідентифікації реальних параметрів поїзда та гальмівної системи.

Одним із шляхів збільшення провізної здатності, підвищення надійності та безпеки на залізничному транспорті є застосування систем автоматичного управління, завдяки яким стає можливим максимально ефективно використовувати рухомий склад, а також забезпечити збільшення швидкості руху по перегону.

В роботі проаналізовано методи дослідження роботи елементів пневматичної гальмівної системи рухомого складу. Показано, що багато сучасних методів мають високу ресурсоємність, що ускладнює їх реалізацію у вбудовуваних бортових обчислювальних системах. Додатковою складністю їх застосування є необхідність точного завдання параметрів всіх компонентів гальмівної системи, що також у процесі експлуатації рухомого складу.

Виконані пробні розрахунки перехідних процесів у системі автоматичного управління. Показано, що САУ забезпечує прицільне регулювальне гальмування на спуску без перевищення встановленої швидкості.

					РДБ.3Т-22д.02 ПЗ				
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат					
Розроб.		Сопін			Реферат	Літ.		Арк.	Акрушіє
Перевір.		Ковтанець						3	
Консульт.						СНУ ім. В. Даля Кафедра ЗАТ ПТМ			
Н. Контр.									
Затверд.									

ЗМІСТ

ВСТУП	5
1 ОГЛЯД І АНАЛІЗ ВИКОНАНИХ РОБОТ В ОБЛАСТІ ДОСЛІДЖЕННЯ	7
1.1 Передумови створення систем автоматичного управління пневматичним гальмом	7
1.2 Аналіз існуючих систем автоматичного управління гальмуванням	9
1.3 Методи дослідження процесів у гальмівних системах	21
1.4 Методи моделювання розподільників повітря	23
1.5 Аналіз підходів у сфері ідентифікації параметрів технічних об'єктів	25
2 МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ ПНЕВМАТИЧНИМ ГАЛЬМОМ	27
2.1 Модель поїзда як об'єкта управління	27
2.2 Врахування зовнішніх сил, що діють на одиниці рухомого складу	30
2.3 Сили опору руху	30
2.4 Модель гальмівної системи поїзда	33
2.5 Функціональна схема системи автоматичного управління пневматичним гальмом	38
2.6 Робота системи автоматичного управління пневматичним гальмом при реалізації прицільного зупинного гальмування	43
2.7 Робота системи автоматичного управління пневматичним гальмом при реалізації прицільного регульовального гальмування перед обмеженням швидкості	46
ВИСНОВКИ	55
ЛІТЕРАТУРА	57

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. Залізничний транспорт відіграє життєво важливу роль у світовій логістиці, а в Україні експлуатаційна довжина залізничної мережі становить близько 19,8 тис. км. Залізниця забезпечує близько 82 % вантажних перевезень та майже 50 % пасажирських перевезень серед усіх видів транспорту в Україні.

Зростаючий обсяг залізничних перевезень вивів багато ліній на рівень максимальної пропускної спроможності. Впровадження автоматизованих систем управління робить значний внесок у підвищення ефективності експлуатації та безпеки руху на залізниці. Багатоконтурні системи автоматичного ведення поїзда (САВП) продемонстрували позитивний ефект від їх впровадження та підвищили безпеку на залізниці. Зовнішнім контуром у такій системі є контур регулювання часу ходу, що формує раціональну з погляду мінімізації витрати паливно-енергетичних ресурсів локомотивами на тягу траєкторію руху поїзда, з урахуванням дотримання графіка руху поїзда. Одним із внутрішніх контурів такої системи є контур управління пневматичним гальмом.

Дана система дозволяється підвищити швидкість руху поїздів на «шкідливих» спусках, забезпечити реалізацію прицільного гальмування та значною мірою знизити вплив на безпеку руху людського фактора, зумовленого нераціональним або хибним використанням пневматичного гальма. Помилкове або неефективне управління гальмами може призвести до суттєвого зниження швидкості, незапланованих зупинок, а відповідно до зниження технічної швидкості та, як наслідок, зниження пропускної спроможності залізниць. Автоматизація бортових систем допомагає уникнути помилок, пов'язаних із людським фактором, підвищуючи безпеку руху та якість управління рухом поїзда.

					РДБ.3Т-22д.02 ПЗ	Арк.
						5
Зм.	Арк..	№ докум.	Підпис	Дата		

Однак застосовувані в даний час системи автоматичного управління (САУ) пневматичним гальмом (ПГ) не враховують при своїй роботі фактичний стан гальмівної системи, а також поїзди в цілому, використовуючи усереднені теоретичні значення параметрів гальмівної системи при виборі режимів гальмування [2], [3], що безпосередньо впливає на точність реалізації, допустимої швидкості руху, так і до проїзду на заборонний сигнал, що є грубим порушенням безпеки руху.

Таким чином, завдання розробки системи автоматичного управління пневматичним гальмом з можливістю оцінки (ідентифікації) фактичного стану пневматичної гальмівної системи та параметрів поїзда, а також здатну адаптуватися до нього поточного стану гальмівної системи та параметрів поїзда є актуальною.

Таким чином, завдання розробки системи автоматичного управління пневматичним гальмом з можливістю оцінки (ідентифікації) фактичного стану пневматичної гальмівної системи та параметрів поїзда, а також здатну адаптуватися до нього поточного стану гальмівної системи та параметрів поїзда є актуальною.

Об'єкт дослідження – система автоматичного управління пневматичним гальмом вантажного поїзда.

Предмет дослідження – процеси в перехідних режимах роботи системи автоматичного управління пневматичним гальмом, що встановилися, показники якості управління швидкістю руху при використанні пневматичного гальма, показники, що характеризують безпеку руху при випадковому характері зміни параметрів гальмівної системи та поїзда.

Метою роботи є підвищення безпеки руху поїздів внаслідок застосування системи автоматичного управління пневматичним гальмом вантажного поїзда з функцією ідентифікації реальних параметрів поїзда та гальмівної системи.

					РДБ.3Т-22д.02 ПЗ	Арк.
						6
Зм.	Арк..	№ докум.	Підпис	Дата		

1 ОГЛЯД І АНАЛІЗ ВИКОНАНИХ РОБОТ В ОБЛАСТІ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Передумови створення систем автоматичного управління пневматичним гальмом

Залізничний транспорт України безперервно розвивається. Транспортна стратегія країни передбачає збільшення пропускної та провізної спроможності залізниці [4], одним із шляхів для реалізації цієї мети є підвищення довжин і мас вантажних та пасажирських поїздів.

З даних за 2024 р. випливає, що у ХХІ столітті зберігається стійка тенденція зростання вантажообігу залізничного транспорту (рисунки 1.1 та 1.2). Тому залізниці потребують великого парку вантажного рухомого складу та значної провізної спроможності існуючих ліній. Одним із шляхів збільшення провізної здатності, підвищення надійності та безпеки на залізничному транспорті є застосування систем автоматичного управління, завдяки яким стає можливим максимально ефективно використовувати рухомий склад, а також забезпечити збільшення швидкості руху по перегону [5].

Значні відмінності рельєфу нашій країні зумовлюють різноманітність поздовжнього профілю залізничної колії [6, 7, 8]. На ряді перегонів є ділянки з ухилами значної крутості та протяжності. На підйомах локомотиви з важкими вантажними складами працюють на граничних потужностях [2], і від машиніста потрібно чималий досвід, щоб подолати таку ділянку колії. Рух на довгих спусках також пов'язаний із значними складнощами. При русі на них необхідно керувати гальмами поїзда так, щоб з одного боку не перевищити встановлену швидкість, а з іншого - дотриматися вимог інструкцій з експлуатації гальм. Дотримання обох вимог – необхідна умова забезпечення безпеки руху.

					РДБ.3Т-22д.02 ПЗ	Арк.
						7
Зм.	Арк..	№ докум.	Підпис	Дата		

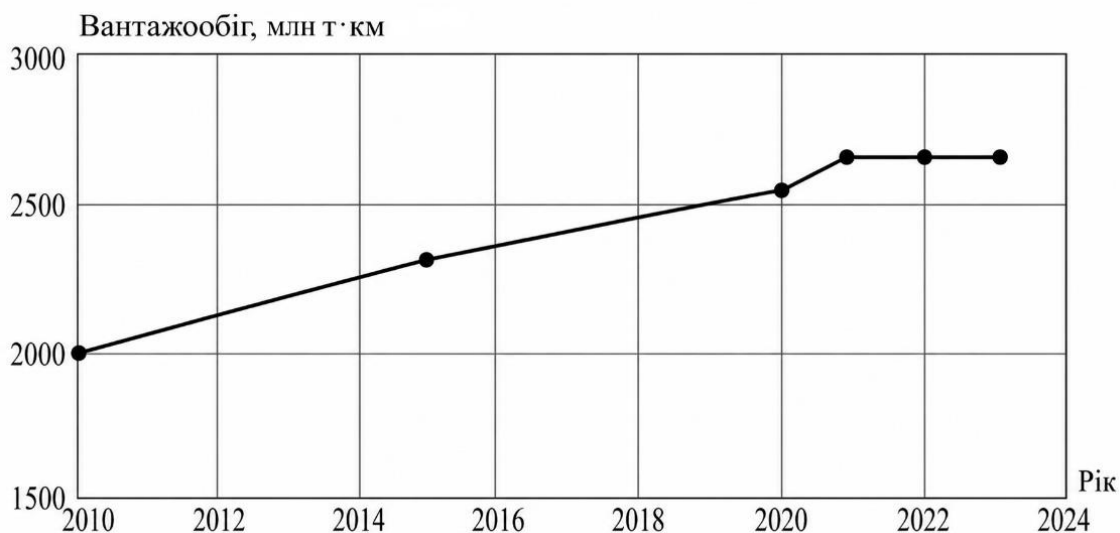


Рисунок 1.1 – Вантажооборот залізничного транспорту за роками

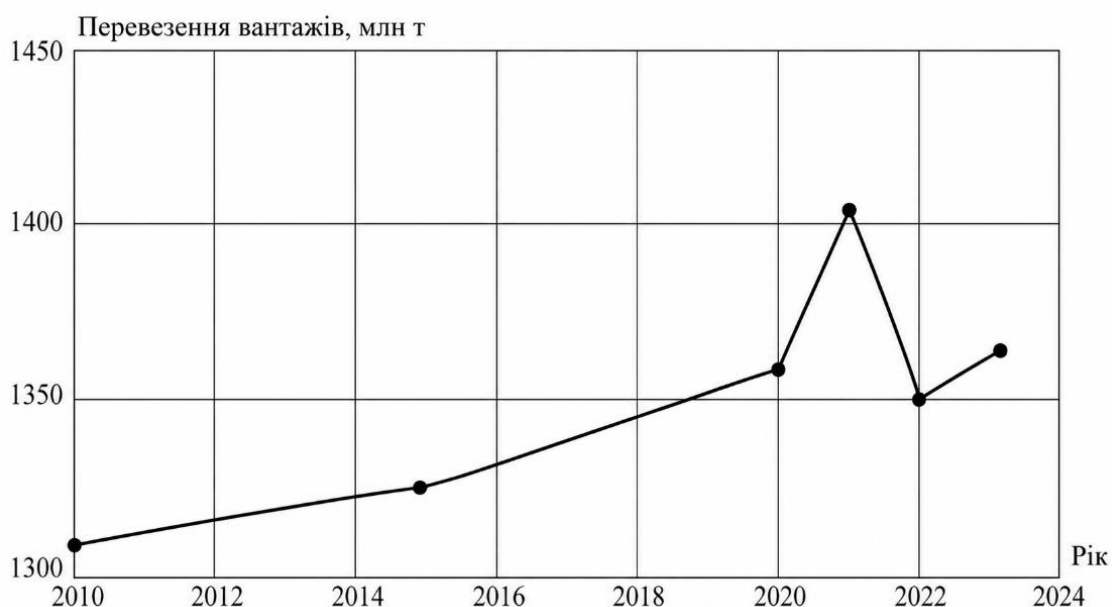


Рисунок 1.2 – Перевезення вантажів залізничним транспортом за роками

Так, наприклад, недотримання послідовності зміни положень крана машиніста або занадто часто гальмування може призвести до виснаження гальм, що створює передумови для їх відмови та створення загрози безпеці руху поїздів. Захистити від помилкових дій, а також підвищити ефективність використання гальм, здатні системи автоматики, призначені для управління гальмами.

Зм.	Арк..	№ докум.	Підпис	Дата

Однією з найважливіших переваг САУ є можливість реалізувати раціональний, з погляду підтримки вищого значення технічної швидкості руху, алгоритм управління гальмівною системою, забезпечивши при цьому дотримання вимог безпеки руху поїздів.

Крім цього, позитивним ефектом від застосування систем автоматичного управління є зниження зносу гальмівних колодок, споживання енергії компресором для живлення елементів гальмівної системи.

Таким чином, розробка та впровадження подібних систем є важливим завданням забезпечення безпеки руху в сучасних реаліях.

1.2 Аналіз існуючих систем автоматичного управління гальмуванням

В даний час з розвитком локомотивного гальмівного обладнання з'явився більший спектр можливостей управління гальмами. Зокрема, крани машиніста №130 та №140 забезпечують автоматичну стабілізацію тиску в гальмівній магістралі на заданому рівні при встановленні рукоятки крана машиніста у поїздне положення, а також перекриш із живленням [9, 10]. Переваги цих пристроїв дозволяють їх використовувати в сучасних системах автоведення та безпеки.

Для підвищення керованості гальмівної системи розроблено та впроваджено систему розподіленого управління гальмом поїзда (РУГП). Однією з основних частин є блок хвостового вагона (БХВ). Він забезпечує розрядку гальмівної магістралі поїзда з хвостової частини поїзда, або у кількох точках, що збільшує швидкість поширення гальмівної хвилі за складом і сприятливо позначається на величинах поздовжніх динамічних сил у поїзді, сприяючи їх зниженню [11].

Поруч переваг, такими як, наприклад, ефективність і керованість, має електропневматичний гальмо [13]. В даний час даний вид гальма знаходить широке застосування на рухомому моторвагонному складі, а також пасажирських поїздах з локомотивною тягою [14, 15, 16].

					РДБ.3Т-22д.02 ПЗ	Арк.
						9
Зм.	Арк..	№ докум.	Підпис	Дата		

В даний час проводяться дослідні роботи з впровадження електропневматичного гальма на вантажні потяги [13]. Це дозволить різко підвищити якість управління гальмами на довгоскладних поїздах, скоротивши час розповсюдження гальмівної хвилі до часу передачі сигналів в інформаційній лінії. Практично одночасне спрацювання гальм на всіх вагонах спричинить кардинальне зниження поздовжніх сил у поїзді в перехідному режимі. Однією з таких систем є ІСКРА-160 [17].

Автоматизації управління гальмами поїзда присвячено великий обсяг наукових праць. Наприклад, у роботі [16], дослідники розробили САУ пневматичним гальмом, функціональна схема якої показана на рисунку 1.3. Задатчик програмної швидкості ЗШ вводить у систему сигнал, пропорційний заданому значенню швидкості. На вхід автоматичного регулятора АР надходить неузгодженість між заданою та фактичною швидкостями, обчислене суматором. АР розраховує ступінь зміни швидкості Δv^* . Проміжний елемент ПЕ перетворює величину зміни швидкості величину зміни тиску в гальмівній магістралі ΔP_{TM} . Гальмівна система поїзда, яка є виконавчим пристроєм (ВП), перетворює ΔP_{TM} на гальмівну силу поїзда B_{T} .

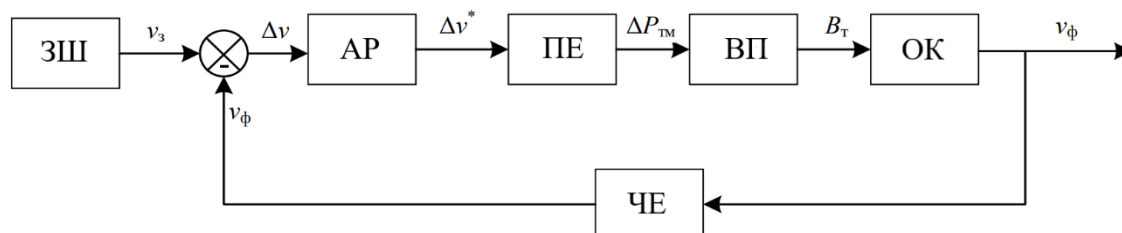


Рисунок 1.3– Функціональна схема системи автоматичного управління пневматичними гальмами вантажного поїзда

Під впливом гальмівної сили, а також основного та додаткового опору руху змінюється фактична швидкість об'єкта управління ОУ – поїзда. АР у цій системі реалізує пропорційно-диференціальний закон управління, що описується виразом згідно:

$$\Delta v^* = k_{\text{пд}} \Delta v + T_{\text{пд}} \frac{d\Delta v}{dt},$$

де $k_{\text{пд}}$, $T_{\text{пд}}$ – коефіцієнти ПД-регулятора, що залежать від параметрів поїзда та колії.

Було опрабовано описаний алгоритм дискретної моделі поїзда, визначаючи максимальні величини поздовжньо-динамічних сил. При апробації параметри регулятора коригувалися для того, щоб сили в упряжних приладах не перевищували допустимих значень.

Ця система є адаптивною, оскільки параметри ПД-регулятора оперативно налаштовуються в дорозі в залежності від параметрів поїзда. Для цього використовуються багатовимірні залежності, отримані розрахунковим шляхом, які зв'язують параметри регулятора з характеристиками поїзда та профілем колії. При цьому в системі неавтоматизоване введення параметрів поїзда, не враховує розкид параметрів поїзда і не має можливості ідентифікувати поточний стан поїзда в дорозі. Відома [7, 8] система автоматичного управління пневматичним гальмом, функціональна схема якої наведена рисунку 1.4.

Розмір заданої швидкості руху вводиться у систему вищим контуром автоведення поїзда. Пристрій управління ПУ реалізує ПД закону управління. Похідна неузгодженість обчислюється в проміжному пристрої ПП1 за формулою першої різниці згідно:

$$\Delta \dot{v} = \frac{d\Delta v}{dt} = \frac{\Delta v(t) - \Delta v(t - \Delta t)}{\Delta t},$$

де Δt – тимчасовий крок.

					РДБ.3Т-228.02 ПЗ	Арк.
						11
Зм.	Арк..	№ докум.	Підпис	Дата		

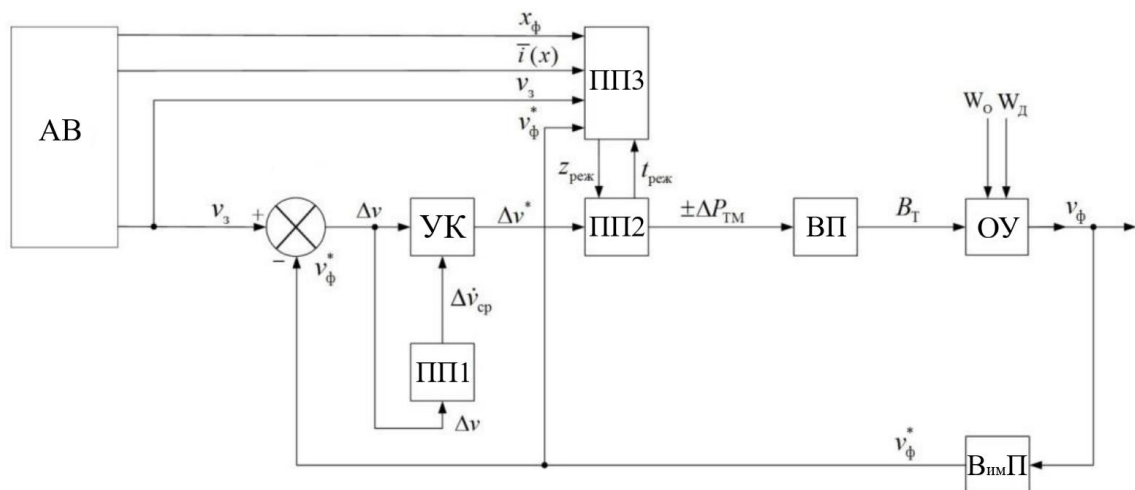


Рисунок 1.4 – Функціональна схема САУ пневматичним гальмом

Потім це значення усереднюється фільтром ковзного середнього за інтервал часу, що дорівнює трьом секундам. Проміжний пристрій ПП2 залежно від вхідних сигналів, що надходять від УУ та ПП3, виробляє сигнал управління виконавчим пристроєм $B_{\text{имП}} \pm \Delta P_{\text{тм}}$. Негативний сигнал відповідає гальмуванню, позитивний відпуску.

Проміжний пристрій ПП3 введено в САУ з метою мінімізації амплітуди коливань швидкості при її стабілізації, а також недопущення перевищення швидкості. На кожному кроці роботи ПП3 виконує запобіжні розрахунки траєкторії руху поїзда, після чого формує на виході логічний сигнал $z_{\text{реж}}$, що забороняє зміни вихідного стану пристрою ПП2. Зміни стану гальмівної магістралі здійснюється за наступним алгоритмом згідно:

$$\begin{cases} +\Delta P_{\text{ім}}, \text{ якщо } \Delta v^* > 0 \text{ и } z_{\text{реж}} = \text{true} \\ -\Delta P_{\text{гм}}, \text{ якщо } \Delta v^* \leq 0 \text{ и } z_{\text{реж}} = \text{true} \\ 0, \text{ якщо } z_{\text{реж}} = \text{false} \end{cases}$$

При цьому розрядка гальмівної магістралі проводиться ступенем 0,7–0,8 кгс/см². Запропонована система забезпечує необхідну якість управління, не допускаючи амплітуд коливань швидкості понад 12 км/год, а також її

перевищення, одночасно забезпечуючи дотримання обмеження величини поздовжніх динамічних сил у поїзд.

Для створення математичної моделі наповнення та відпуску гальмівних циліндрів автори у своїй роботі використовують апроксимацію графіків зміни тиску в гальмівних циліндрах, наведену в [8]. Дані залежності отримані для розподільників повітря, які в даний час практично не застосовуються на залізницях України. Відображені на графіках криві досить сильно відрізняються від аналогічних кривих наповнення та скидання тиску в гальмівних циліндрах при використанні розподільників повітря №483, як буде показано в роботі далі. На додаток до цього слід зазначити, що в описаній системі також відсутня процедура оцінки ефективності та ідентифікації ряду параметрів гальмівної системи поїзда, що призводить до зниження якості управління швидкістю при стабілізації швидкості. Також у системі не передбачено можливості реалізації прицільного гальмування.

На залізничному транспорті знайшла застосування система САУГ-ЦМ [9]. Вона містить локомотивні та дорожні пристрої. До її функцій належить контроль максимальної допустимої швидкості, відключення тяги та застосування режиму гальмування на відстані, що дорівнює необхідному гальмівному шляху до місця початку обмеження швидкості. Її функціональна схема наведена на рисунку 1.5.

Перед початком руху машиніст програмує систему через пульт управління ПУ, вводячи до неї кількість осей, масу та тип поїзда (вантажний/пасажирський/змішаний). Локомотивні котушки ЛК при переміщенні їх над шляховими шлейфами ШШ за рахунок індуктивного зв'язку приймають інформацію про шляхові параметри і показання світлофора, довжину маршруту прийому, обмеження швидкості. Дані зберігаються в блок пам'яті колійних параметрів БПКП. Відповідно до цих параметрів у блоці електроніки БЕ обчислюється крива швидкості руху або так звана програмна швидкість $v_{пр}$.

					РДБ.3Т-22д.02 ПЗ	Арк.
						13
Зм.	Арк..	№ докум.	Підпис	Дата		

					РДБ.ЗТ-220.02 ПЗ	Арк.
						14
Зм.	Арк..	№ докум.	Підпис	Дата		

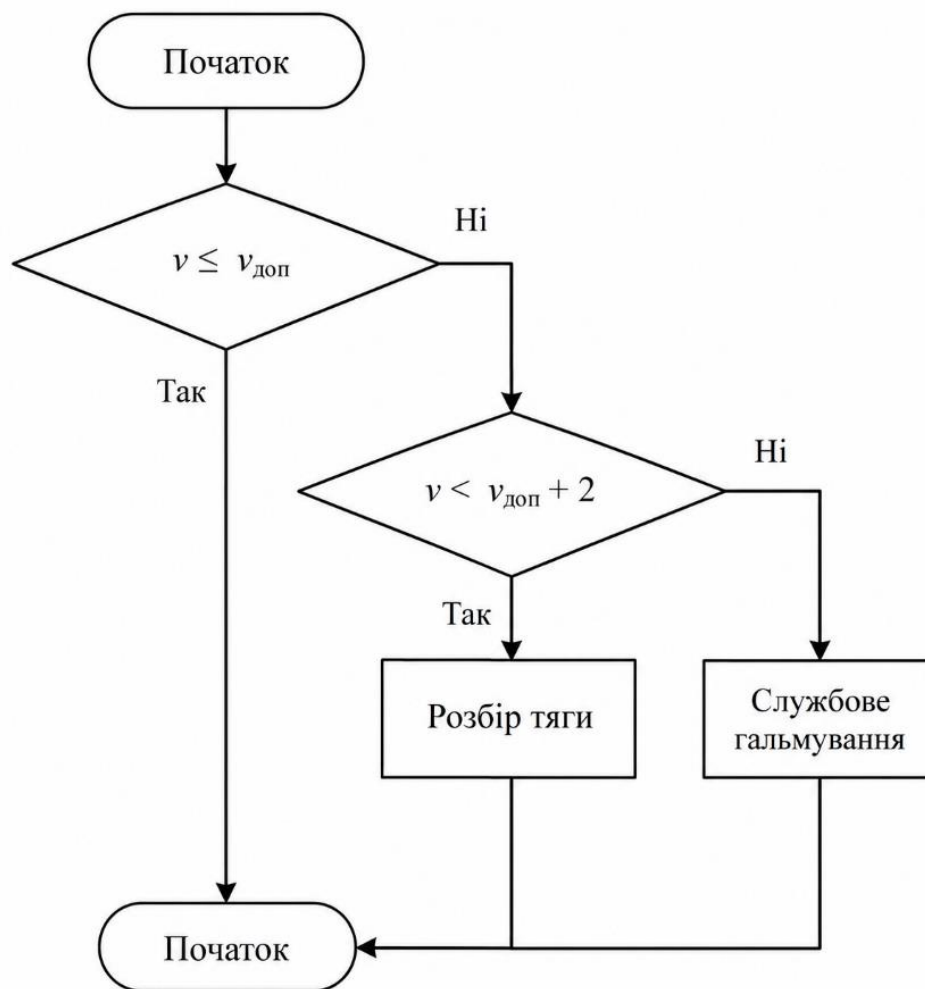


Рисунок 1.6 – Алгоритм контролю допустимой скорости САУГ-ЦМ

Крім цього, САУГ-ЦМ забезпечує прицільне гальмування перед сигналом забороняючого світлофора (рисунок 1.6) з відхиленням від цільової координати шляху $S_{зс}$ $[-100; 10]$ м [9], а також гальмування перед початком постійно діючого обмеження $S_{пдо}$, розраховуючи гальмівний шлях поїзда $S_{тп}$ до вказаних точок. Одночасно САУГ-ЦМ здатна видавати машиністу більше 20 мовних повідомлень про сигнал світлофора, наближення до небезпечних місць тощо, за допомогою синтезатора мови СМ. Необхідно відзначити, що максимальне відхилення координати зупинки від цільової велике, що допускається системою.

Подібні відхилення допустимі для системи безпеки, призначеної для виключення факту проїзду поїздом сигналу світлофора, що забороняє.

Однак, дана система не може ідентифікувати поточний стан поїзда та гальмівної системи.

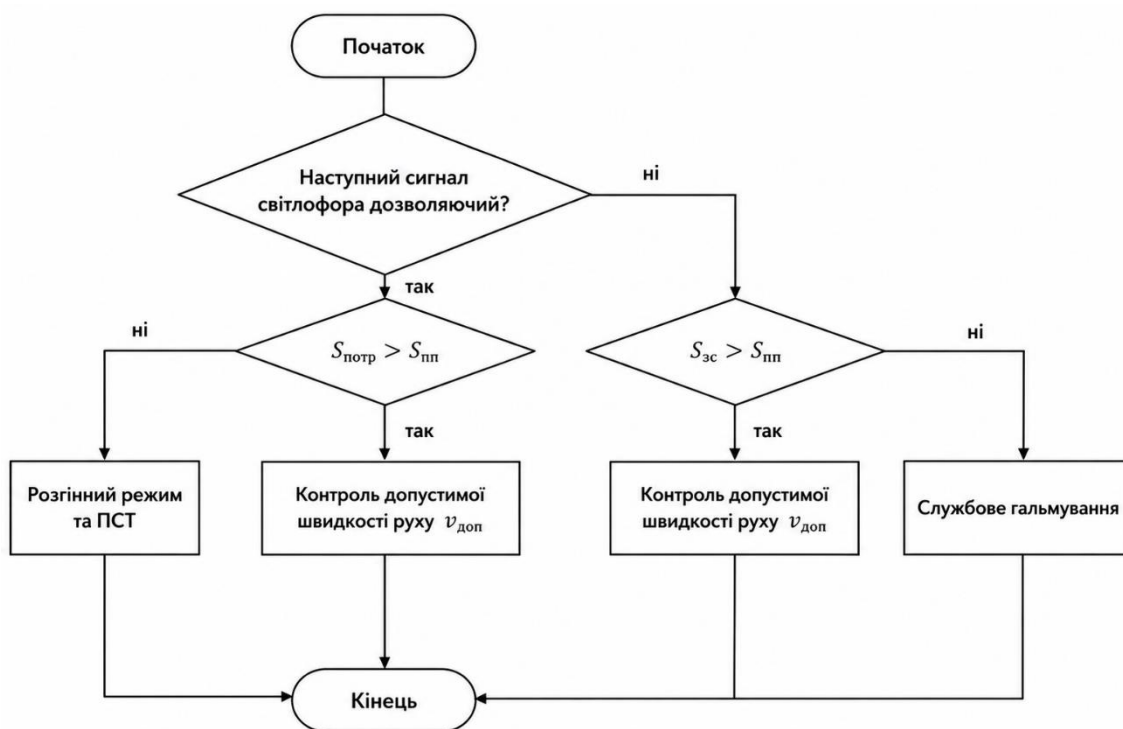


Рисунок 1.7 – Удосконалений алгоритм роботи САУГ на перегоні

Також розроблено та експлуатується система ІСАВП-РТ, призначена для автоматизованого асинхронного та синхронного управління вантажними електровозами при водінні з'єднаних поїздів масою до 12 тис. тонн і вище. Система враховує профіль колії, постійні та тимчасові обмеження, поздовжньо-динамічні сили та обирає енергооптимальний режим ведення поїзда. Електровоз, обладнаний апаратурою системи ІСАВП-РТ, може керувати блоком хвостового вагона (БХВ, рисунок 1.8), системами управління гальмами САУГ поїзда до 9000 тонн [3].

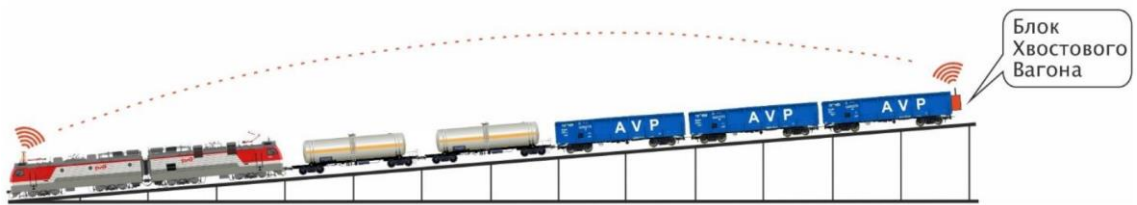


Рисунок 1.8 – Положення БХВ у поїзді з локомотивом, обладнаним САВП-РТ

Також відома [12] адаптивна САУ прицільним електропневматичним гальмуванням (ЕЛТ), що дозволяє ідентифікувати дійсний гальмівний коефіцієнт (ϑ). У цьому дослідженні ϑ представлений у вигляді функції $\vartheta(P_{\text{гц}})$ та записаний відповідно до рівняння:

$$\vartheta_d = \frac{A_1 p_{\text{гц}}^3 + B_1 p_{\text{гц}}^2 + C_1 p_{\text{гц}} + D_1}{B'_1 p_{\text{гц}}^2 + C'_1 p_{\text{гц}} + D'_1}$$

де $A_1, B_1, C_1, D_1, B'_1, C'_1, D'_1$ – коефіцієнти, що враховують параметри гальмівних засобів електропоїзда;

$p_{\text{гц}}$ – тиск у гальмівному циліндрі.

Функціональна схема системи наведено на рисунку 1.9. Заданий пристрій ЗУ формує і передає у сумірний пристрій СУ координату прицільної точки зупинки S_n . СУ формує відстань до заданої точки. Налаштовуючи модель (НМ) на основі значень тиску в ГЦ та фактичної швидкості, що вимірюються відповідно датчиком тиску ДДІ та датчиком шляху та швидкості ДПС, САУ формує оцінку дійсного гальмівного коефіцієнта функції тиску в ГЦ. Програмний блок управління ПБО, отримавши залежність гальмівного коефіцієнта, а також поточну швидкість і тиск, формує керуючий вплив, що передається системою на виконавчий пристрій ІУ, який змінює керуючий вплив на об'єкт управління ЗУ – поїзд. Таким чином, дана система є самоналаштовується.

Алгоритм управління прицільним електропневматичним гальмуванням, що реалізується цією системою, включає три фази:

– визначення точки початку гальмування відповідно:

$$V = \sqrt{2a_{з\text{ пр}}S},$$

де $a_{з\text{ пр}}$ – уповільнення поїзда, з яким проводитиметься гальмування;

– ідентифікація ЕПТ $\mathcal{F}\mathcal{D} = \mathcal{F}\mathcal{D}(p_{\text{ГЦ}})$. Застосовуваний метод дозволяє знайти оптимально наближене рішення $\mathcal{F}\mathcal{D}$ записане в матричному вигляді;

– вихід на криву гальмування.

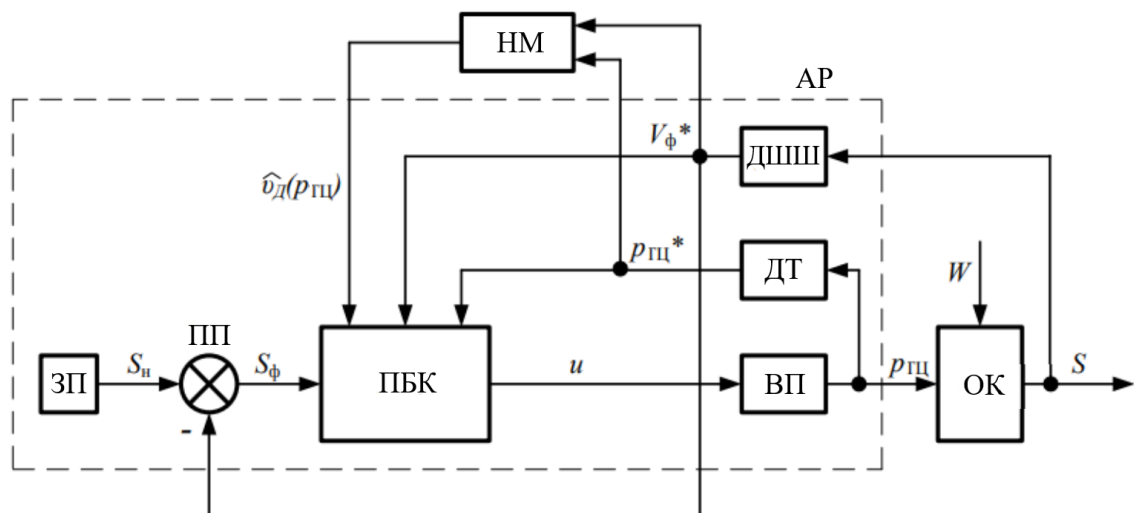


Рисунок 1.9 – Функціональна схема САУ ЕЛТ

Ця система не враховує конструкцію пневматичної гальмівної системи вантажного поїзда, особливості перебігу перехідних процесів у ній, а також сукупність обмежень, що накладаються на управління гальмівними приладами. У сучасних системах поряд із класичними лінійними регуляторами знаходять своє застосування регулятори, побудовані на основі нечіткої логіки.

Наприклад, в [13] описана система автоведення поїздів метрополітену, що застосовується на японських залізницях, що вирішує такі завдання:

- управління рухом між станціями;
- управління зупинкою в заданому місці.

Правила нечіткого управління будуються з урахуванням знань фахівців у тому, як необхідно управління здійснювати (база знань на рисунку 1.10). Ці правила мають словесний вигляд, що полегшує роботу з регулятором і дозволяє реалізувати закони управління, які залежать від багатьох параметрів.

У даній системі на основі спостережуваних значень стану в блоці моделювання руху поїзда МДП імітується результат управління для всіх передбачуваних команд, і прогнозуються величини, що оцінюються, які становлять найбільший інтерес як мета управління. На основі цього прогнозу за допомогою блоку оцінки БО на основі функцій приналежності ФП здійснюється багатоцільова оцінка. За допомогою нечіткого регулятора НР ведеться обробка отриманих значень оцінки та знань про управління (база правил БП) та визначається оптимальна команда управління.

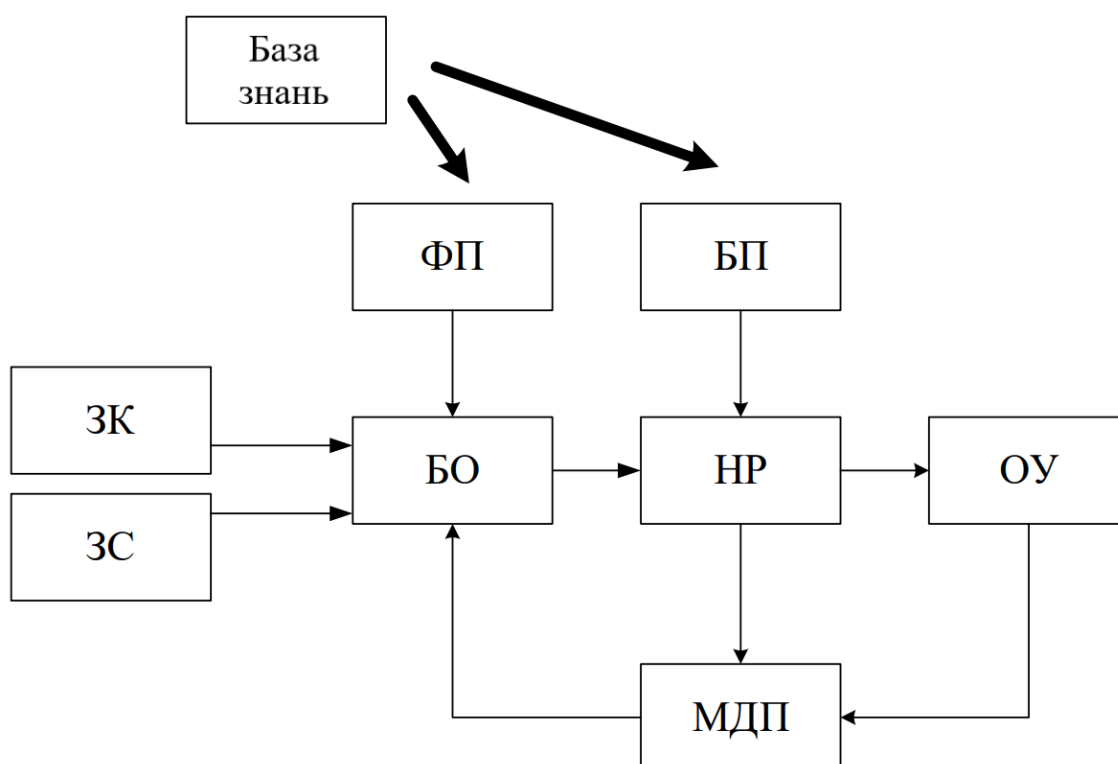


Рисунок 1.10– Функціональна схема САУ рухом поїзда з нечітким регулятором

У своїй роботі САУ використовує такі показники оцінки:

- показник оцінки безпеки (S). Головна мета при забезпеченні безпеки – запобігання зіткненню з поїздом, що йде попереду. У разі перевищення граничної швидкості САУ забезпечує екстрене гальмування та знижує швидкість. Якщо попереду є ділянка шляху, на якому гранична швидкість виявиться нижчою за поточну, то, приймаючи як мету пом'якшення поштовху від екстреного гальмування при в'їзді на цю ділянку, проводиться оцінка небезпеки протягом часу, необхідного для досягнення пункту, де гранична швидкість знижується. Якщо цей проміжок часу великий, показник оцінки визначається як «безпека хороша: $S \in G$ », якщо малий, то «безпека погана: $S \notin G$ »;
- показник оцінки комфортабельності (C). При керуванні поїздом поставлено завдання забезпечення руху без поштовхів поїзда. При частій зміні позицій керування пасажери відчувають поштовхи великої амплітуди і комфортабельність знижується, тому рівень комфортабельності можна оцінювати за часом, що минув після останньої зміни позиції. При великому проміжку цей показник окреслюється «комфортабельність хороша: $C \in G$ », інакше «комфортабельність погана: $C \notin G$ »;
- показник оцінки економії електроенергії (E). Очевидно, що економія тим більша, чим більше поїзд рухається в режимі вибігу. Тому на ділянках, де електродвигуни відключені, цей показник оцінюється як «хороша економія електроенергії: $E \in G$ »;
- показник оцінки швидкості (T). Швидкість оцінюється через 2-3 секунди після передбачуваної зміни позиції. Для випадку, коли прогнозована швидкість близька до оптимальної і трохи менша за граничну, показник оцінки визначається як «швидкість руху хороша: тобто G », при збігу цих швидкостей – «швидкість руху дуже хороша: тобто VG », а у випадку, коли прогнозована швидкість набагато менше граничної – «швидкість руху погана, тобто»;

					РДБ.3Т-22д.02 ПЗ	Арк.
						20
Зм.	Арк..	№ докум.	Підпис	Дата		

– показник оцінки часу у дорозі (R) визначається залежно від того, де почалося гальмування перед зупинкою. Відповідно до швидкості складу визначається точка початку гальмування. Якщо гальмування почалося задовго до цієї точки, показник оцінки визначається як «час у дорозі дуже поганий: $R \in B$ », якщо гальмування почалося майже біля точки – «час у дорозі середнє: $R \in M$ », якщо ж після точки – «час у дорозі дуже хороший: $R \in VG$ »;

– показник оцінки точності зупинки (A). Виходячи з поточної швидкості поїзда та його місцезнаходження, робиться прогноз про те, де відбудеться зупинка, якщо зберегти поточну позицію гальмування або якщо збільшити чи зменшити її. Показник оцінки визначається як «точність зупинки хороша: $A \in G$ », якщо точка, що прогнозується, знаходиться поблизу заданої точки зупинки, або «точність зупинки дуже хороша: $A \in VG$ », якщо прогнозована і цільова точки збігаються.

Як і попередня система, САУ добре підходить для застосування на поїздах, обладнаних електропневматичним гальмом. Також слід зазначити, що у метрополітені умови експлуатації рухомого складу набагато м'якші – менші перепади температур, порівняно мала ймовірність юза. Разом з тим в описаній САУ відсутній будь-який аналіз поздовжньої динаміки поїзда, а головне дана система не оцінює процесів, що протікають у пневматичному гальмі, і не враховує тимчасових обмежень використання пневматичного гальма.

1.3 Методи дослідження процесів у гальмівних системах

Гальмівна система забезпечує безпеку руху поїздів. Особливістю гальмівної системи вантажних поїздів є її довжина і пов'язана з цим значна інерційність нестабільність характеристик гальмівних приладів, більша навантаженість у порівнянні з пасажирським поїздом. Спрощена схема гальмівної системи вантажного поїзда показана на рисунку 1.11.

Машиніст (або система управління) впливає на гальмівну магістраль ГМ шляхом зміни тиску в зрівняльному резервуарі УР. Тиск, заданий УР, з

					РДБ.3Т-22д.02 ПЗ	Арк.
						21
Зм.	Арк..	№ докум.	Підпис	Дата		

допомогою реле тиску повторюється в ГМ. На кожному вагоні встановлено воздухораспределитель. У режимі відпуску гальмівний циліндр ГЦ з'єднаний з атмосферою Атм, а резервний резервуар ЗР наповнюється з ТМ через зворотний клапан. При гальмуванні ГЦ з'єднується з ЗР і відбувається його наповнення до тиску, що залежить від глибини розрядки ГМ і заданого режиму роботи розподільника повітря (вантажений, середній або порожній). Після наповнення ГЦ до необхідного тиску настає перекирвля. При цьому можливі витіки із ЗР поповнюються через зворотний клапан із ГМ, а витіки із ГЦ компенсуються із ЗР.

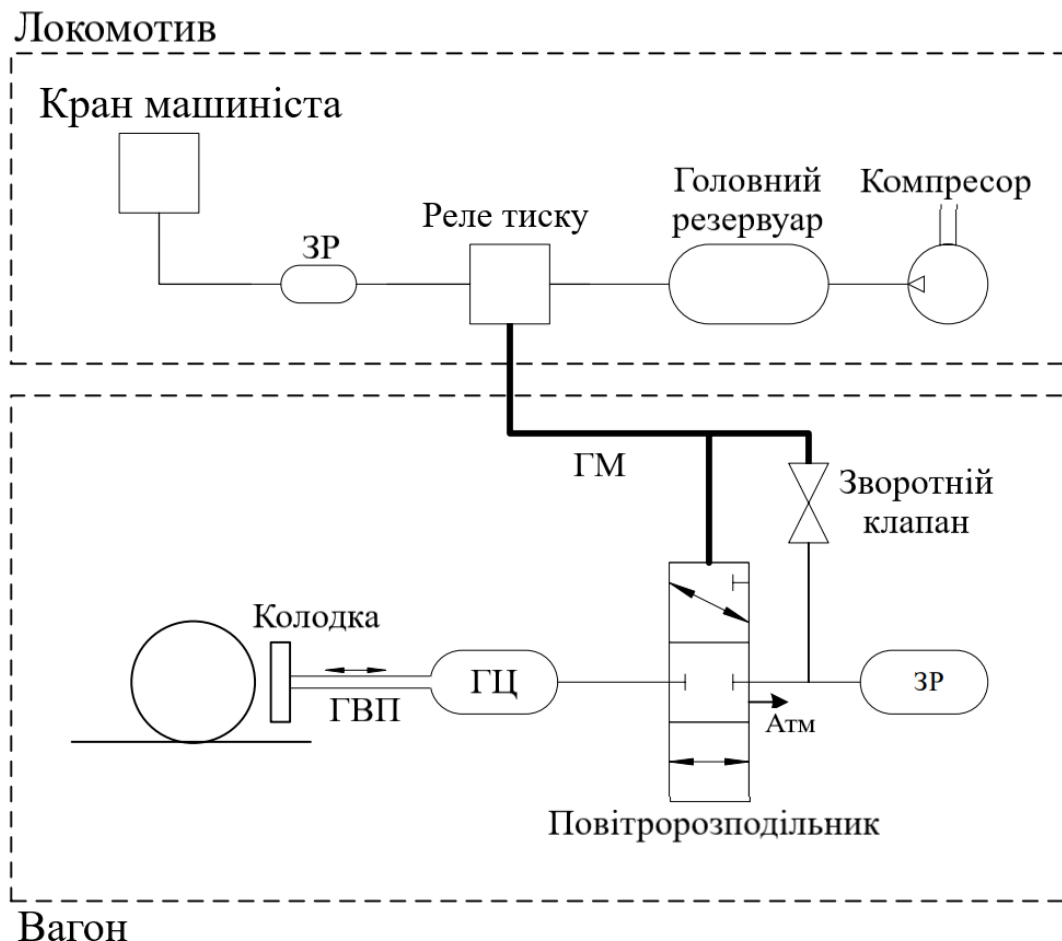


Рисунок 1.11– Спрощена схема гальмівної системи поїзда

Тиск, реалізований в ГЦ, впливає на шток, який за допомогою гальмівної важільної передачі ГВП створює гальмівне зусилля, притискаючи колодку до колеса.

Для аналізу функціонування систем управління застосовується математичне та імітаційне моделювання, справедливе та для систем управління гальмівними засобами поїзда [12-16].

Відомо, що математичне моделювання пневматичних систем – складне та багатопланове завдання. При створенні моделей елементів гальмівної системи, застосовується безліч підходів як спрощують модель, так і враховують складні термодинамічні процеси, що відбуваються в гальмівних приладах.

1.4 Методи моделювання розподільників повітря

Повітророзподільник як елемент системи автоматичного управління має на вході тиск у гальмівній магістралі, а на виході – тиск у гальмівному циліндрі. Найпростішим розподільником повітря є потрійний клапан, схематичне зображення якого в різних режимах роботи наведено на рисунку 1.12.

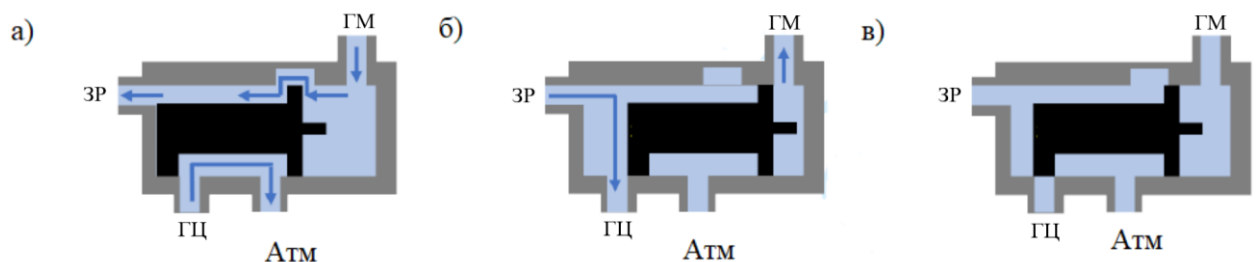


Рисунок 1.12– Режими роботи потрійного клапана

У режимі відпуску (а) гальмівна магістраль з'єднується із запасним резервуаром, заряджаючи його, а повітря з гальмівного циліндра виходить в атмосферу. При розрядженні гальмівної магістралі клапан зміщується вправо (б), повідомляючи запасний резервуар з гальмівним циліндром та забезпечуючи гальмування.

Коли тиск запасного резервуара впаде нижче, ніж у гальмівній магістралі, клапан зміститься ліворуч (в), перекривши канал наповнення гальмівного циліндра, і настане перекриш.

Будь-який повітророзподільник має статичну характеристику – залежність тиску, що встановився, в гальмівному циліндрі в залежності від тиску в гальмівній магістралі (або ступені її розрядки). Ці характеристики відрізняються в залежності від конструкції розподільника повітря і режиму роботи, на який він включений. Узагальнений приклад такої характеристики представлений на рисунку 1.13.

На невелике падіння тиску в гальмівній магістралі розподільник повітря не реагує. Далі є ділянка, на якій тиск у ГЦ буде постійним, а за ним слідує лінійна ділянка. При розрядці близько 0,15 МПа (для вітчизняних розподільників повітря) забезпечується максимальний тиск у гальмівному циліндрі.

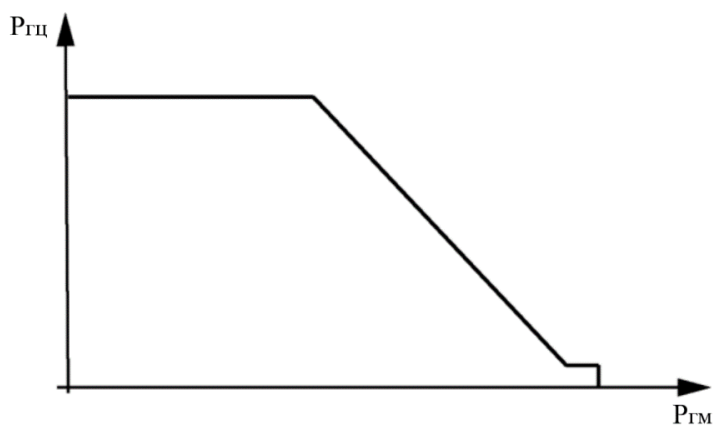


Рисунок 1.13 – Узагальнена статична характеристика розподільника повітря

З тієї причини, що маса рухомих частин розподільника повітря мала, і їх пересування відбувається досить швидко, при моделюванні часто їх приймають безінерційними [12,13,14], що і дозволяє використовувати для опису роботи статичну характеристику.

У даній роботі буде використаний даний метод, при якому використано уточнену модель ВР, яка використовує статичні характеристики розподільників повітря, поширених на вітчизняному рухомому складі.

1.5 Аналіз підходів у сфері ідентифікації параметрів технічних об'єктів

У процесі експлуатації залізничного рухомого складу фактичні значення параметрів його вузлів та систем часто не збігаються з розрахунковими, прийнятими при проектуванні та побудові моделей. Подібні розбіжності обумовлені зношуванням елементів, допусками при виготовленні, зміною зовнішніх умов, а також особливостями режимів роботи техніки.

Істотну роль відіграють нерівномірність завантаження вагонів, стан колії та розкид параметрів пневматичного обладнання по довжині поїзда. Сукупний вплив цих факторів призводить до того, що використовувані в автоматизованих системах управління моделі можуть призводити до погіршення якості керування рухом та гальмуванням поїзда, зростає помилка прицільної зупинки та збільшуються поздовжні динамічні навантаження у складі. Для підвищення якості керування необхідно застосовувати методи ідентифікації параметрів виконавчого пристрою та об'єкта керування. Способи ідентифікації перераховані, наприклад, [17]. Зокрема, виділяють такі групи методів:

1. Методи, побудовані на штучному впливі на систему неперіодичним сигналом (як правило – ступінчастим), потужність якого велика в порівнянні з рівнем перешкод у системі. По реакції системи визначаються її часові показники.

2. Методи, побудовані на вплив на систему періодичними сигналами різної частоти, По реакції системи визначаються її частотні характеристики.

3. Методи, побудовані на вплив на систему синусоїдальними сигналами, в результаті якого також визначаються частотні характеристики системи.

					РДБ.3Т-22д.02 ПЗ	Арк.
						25
Зм.	Арк..	№ докум.	Підпис	Дата		

4. Методи, які потребують штучних впливів. Ідентифікація проводиться у процесі нормальної експлуатації.

Групи методів 1-3 знаходять широке застосування. Наприклад, налаштування частотного перетворювача, що працює з двигунами у промислових умовах, проводиться подачею на двигун групи тестових сигналів, завдяки яким здійснюється ідентифікація електромотора [8, 9].

Методи четвертої групи дозволяють відразу знаходити значення параметрів моделі об'єкта за значеннями керованого і керуючого сигналів. При цьому вважають, що структура та порядок моделі об'єкта вже відомі. Важливою перевагою таких методів є можливість використання рекурентних алгоритмів, що дозволяють проводити поточну ідентифікацію у реальному часі за номінальних режимів роботи об'єкта управління. Зокрема, виділяють метод найменших квадратів, метод максимальної правдоподібності та метод стохастичної апроксимації.

До четвертої групи методів також відносять методи з використанням спостерігачів стану, які дозволяють у процесі управління визначати ті змінні стани системи, які можуть бути безпосередньо визначені з використанням прямих чи непрямих методів виміру [8, 9]. Для об'єкта, що повністю спостерігається, з відомими параметрами, що задається рівняннями в просторі станів, можна оцінити його змінні стани і вимірюваними змінними, використовуючи математичну модель об'єкта.

Існує безліч подібних спостерігачів, однак, доведено, що оптимальним спостерігачем стану динамічної системи є фільтр Калмана [6], який і використовується в даній роботі. Цей метод раніше застосовувався для визначення основного опору руху поїзда, а також для визначення кутового прискорення та часу до заклинювання колісних пар [12].

Аналіз показує, що в даний час виконані і продовжуються активні роботи з автоматизації гальмування рухомого складу, наукові дослідження в галузі опису процесів у гальмівних системах поїзда, ідентифікації параметрів об'єктів управління.

					РДБ.3Т-22д.02 ПЗ	Арк.
						26
Зм.	Арк..	№ докум.	Підпис	Дата		

Існуючі системи можна поліпшити, ведучи керування гальмами з урахуванням ідентифікованих у процесі руху параметрів гальмівної системи. Це дозволить підвищити впевненість у дотриманні заданого обмеження швидкості та точності зупинки поїзда.

					РДБ.3Т-220.02 ПЗ	Арк.
						27
Зм.	Арк..	№ докум.	Підпис	Дата		

2 МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ ПНЕВМАТИЧНИМ ГАЛЬМОМ

2.1 Модель поїзда як об'єкта управління

Як модель поїзда у цьому дослідженні обрано модель, розроблену вченими Дніпропетровського інституту інженерів транспорту (ДІІТ) [13, 14]. У цій моделі поїзд представлений у вигляді цепочки мас локомотивів та вагонів, з'єднаних пружно-дисипативними міжвагонними зв'язками із зазорами – поглинаючими апаратами та автозчепленнями. Також дана модель поїзда дозволяє побачити вплив продовжніх сил, що виникають у поїзді, на гальмування. Розрахункова схема такої моделі поїзда показана на рисунку 2.1.

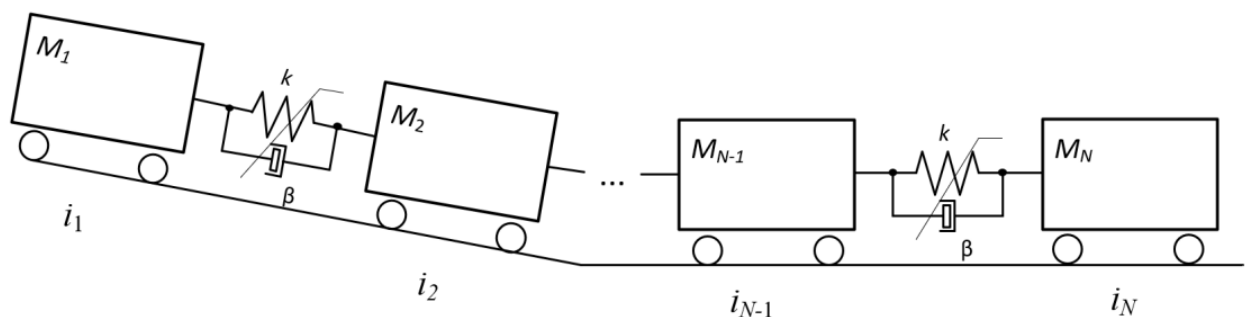


Рисунок 2.1 – Розрахункова схема моделі поїзда

Кожна рухома одиниця має масу M_i . Екіпажі з'єднуються один з одним автозчіпними пристроями, обладнаними поглинаючими апаратами, що є нелінійним елементом. Кожен із вагонів розташований на елементі профілю i_i . І тут для i -го вагона можна записати таку систему диференціальних рівнянь.

$$\begin{cases} \dot{v}_i = \frac{S_{i-1} - S_i + F_i}{M_i}, i \in [1, N]; S_{N+1} = 0; \\ \dot{q}_i = v_{i-1} - v_i, i \in [2, N]; \\ \dot{x}_1 = -\dot{q}_1 \end{cases}$$

де v_i – швидкість центру мас i -ї рухомої одиниці;
 S_i – сила в i -му міжвагонному з'єднанні;
 F_i – рівнодіюча зовнішніх сил, що діють на екіпаж;
 M_i – маса i -ї рухомої одиниці;
 N – кількість вагонів у поїзді;
 q_i – деформація i -го міжвагонного з'єднання;
 $\dot{q}_i$ – швидкість деформації міжвагонної сполуки;
 x_i – координата центру мас i -го екіпажу.

Величину деформації визначається за формулою:

$$q_i = x_i - x_{i-1} - \frac{l_i + l_{i-1}}{2},$$

де x_i – координата положення центру мас i -го екіпажу;
 l_i – довжина i -го екіпажу.

При розробці моделі поїзда у міжвагонному зв'язку використано модель пружно-фрикційного поглинаючого апарату типу ПМК-110 [15]. Особливість даного апарату полягає у наявності двох пружних елементів з послідовним спрацюванням, перший із яких включений у роботу завжди, а другий включається тільки після того, як зв'язок стане деформований на певну величину. Таким чином, характеристики такого апарату на гілках навантаження та розвантаження є нелінійними і мають дві ділянки з різною жорсткістю [6].

Значну роль формуванні перехідних процесів у поїзді грають зазори в автозчіпних пристроях і поглинаючих апаратах, зумовлені особливостями конструкції автозчеплень і поглинаючих апаратів та технології їх виготовлення, а також зносом, що виникає в процесі експлуатації рухомого складу. У зв'язку з цим кожен міжвагонний зв'язок доцільно моделювати як з'єднання з наявністю зазору. У першому етапі виконання розрахунків величина зазору було прийнято рівної 65 мм [3, 4]. Необхідно відзначити, що в умовах експлуатації величина зазору індивідуальна для кожного міжвагонного зв'язку і може змінюватись в межах від 30 до 110 мм. Характеристика апарату, побудована з допомогою рівнянь 2.5 і 2.6, з урахуванням зазору, представлено на рисунку 2.2.

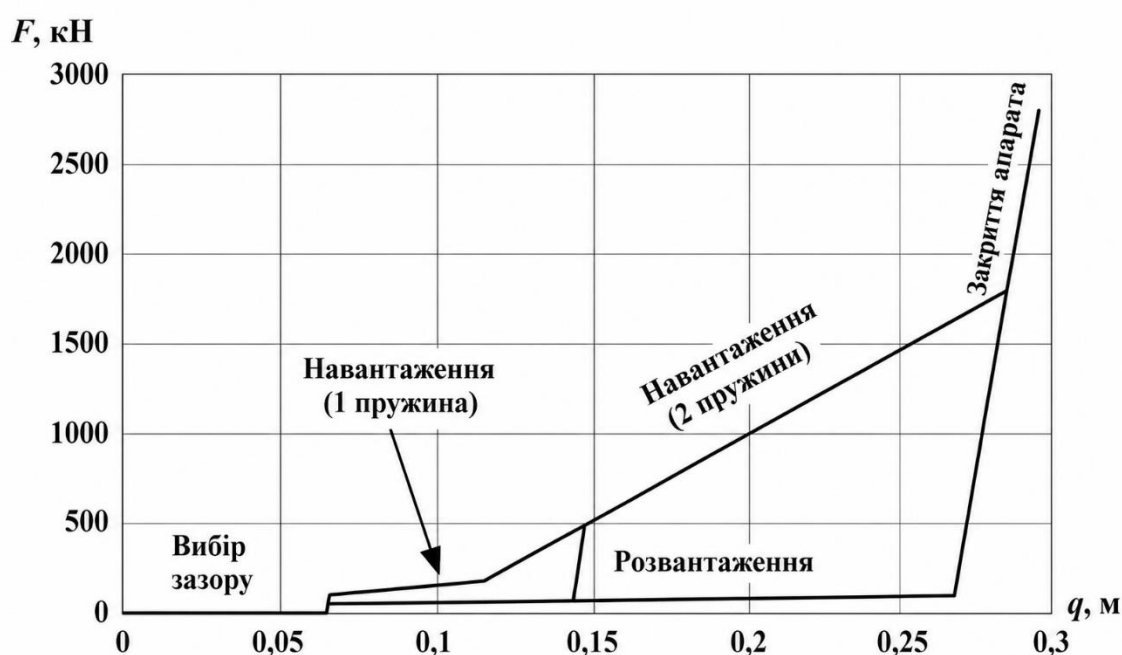


Рисунок 2.2 – Характеристика поглинаючого апарату ПМК-110 з автозчеплення СА-3

2.2 Врахування зовнішніх сил, що діють на одиниці рухомого складу

Як видно з системи рівнянь, у чисельнику першого рівняння записана рівнодіюча сил, що діють на i -ю рухливу одиницю, що включає сили в i -му міжвагонному з'єднанні S_{i-1} , S_i , а також зовнішню силу F_i . Сила F_i , що діє на кожну одиницю рухомого складу, у цій роботі обчислюється за формулою (індекс i опущено):

$$F = W_0 + W_d + B_r,$$

де W_0 – сила основного опору руху екіпажу;

W_d – сила додаткового опору руху екіпажу;

B_r – гальмівна сила, реалізована пневматичним гальмом екіпажу.

2.3 Сили опору руху

Сили основного опору руху різних типів рухомих одиниць обчислюється по співвідношенням:

$$W_0 = \begin{cases} w_x P, & \text{для локомотива в режимі вибігу} \\ w_0 Q, & \text{для вагону} \end{cases}$$

де P – вага локомотива;

Q – вага вагона;

w_x – основний питомий опір руху локомотива в режимі вибігу;

w_0 – основний питомий опір руху вагона.

У цій роботі розглядаються режим вибігу та гальмування на зтяжному спуску, відповідно для електровоза обчислюється опір руху при вибігу, що визначається співвідношенням:

					РДБ.3Т-220.02 ПЗ	Арк.
						31
Зм.	Арк..	№ докум.	Підпис	Дата		

$$w_x = 2,4 + 0,011v + 0,00035v^2$$

У дослідженні прийнято, що поїзд сформований із чотиривісних вантажних вагонів із роликowymi підшипниками. Основний питомий опір у разі визначається за формулою:

$$w_0^* = 0,7 + \frac{3 + 0,1v + 0,0025v^2}{q_0},$$

де q_0 – навантаження на вісь.

Додатковий опір руху складається з опору руху від ухилу та опору руху при проходженні кривих

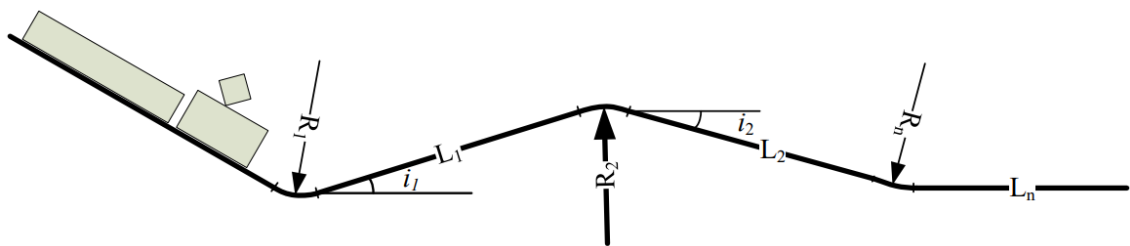


Рисунок 2.3 – Модель поздовжнього профілю шляху

Поздовжній профіль шляху можна подати так, як показано на рисунку 2.3. Є n ділянок шляху з постійним ухилом завдовжки L_i . Вони сполучаються між собою кривими радіусу R_i (у цьому дослідженні переважають у всіх розрахунках R_i прийнятий рівним 10000 м.).

У цій роботі для обліку опору руху в кривих ділянках шляху проводилася заміна цих кривих еквівалентними підйомами у відповідність до правил, наведених в [3, 4,]. Для цього було обрано ділянку профілю колії з числовими характеристиками, зазначеними в таблиці 2.1, а також побудовано графік залежності висоти колії щодо нульової точки, представлений на рисунку 2.4.

Як показали пробні розрахунки, на цій ділянці відбувається 3-4 цикли гальмування, чого достатньо для дослідження.

Таблиця 2.1 - Поздовжній профіль ділянки колії.

№	Довжина елемента, м	Ухил, ‰
1	2000	0
2	500	-5
3	1000	-6,9
4	500	-4,5
5	500	-3
6	2000	-5
7	500	-2
8	200	-3
9	700	-4
10	900	-5,4
11	200	-2,4
12	700	-3,8
13	500	-4,3
14	750	-1,2
15	2000	0

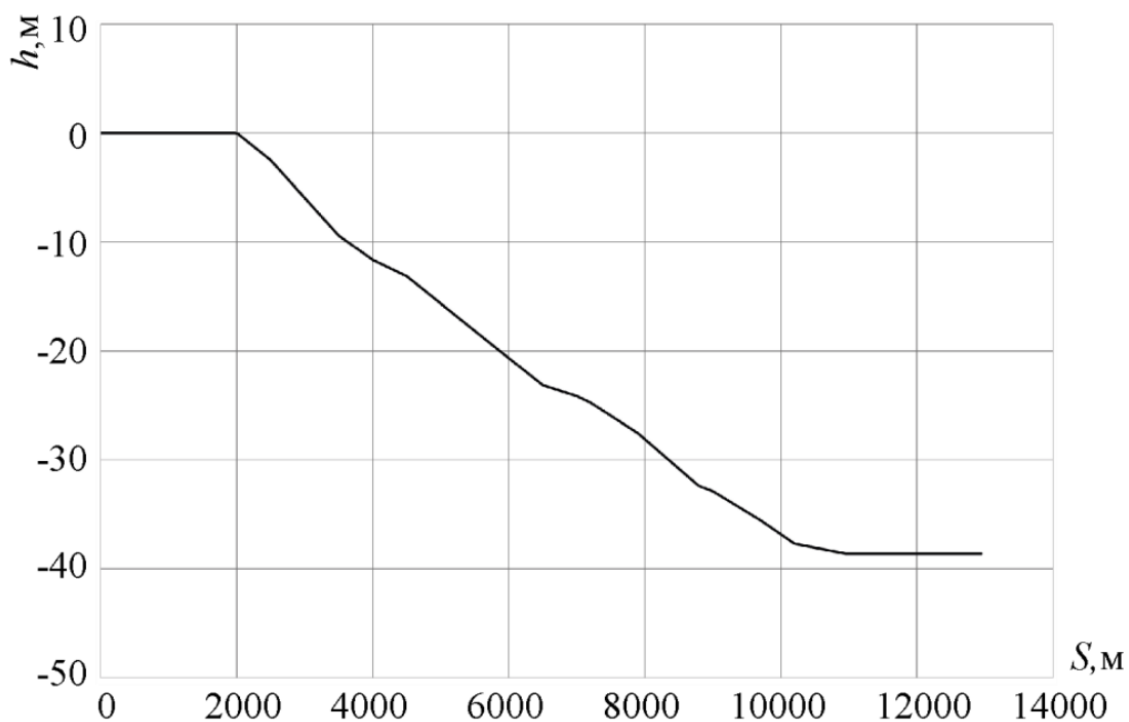


Рисунок 2.4 – Поздовжній профіль ділянки колії

2.4 Модель гальмівної системи поїзда

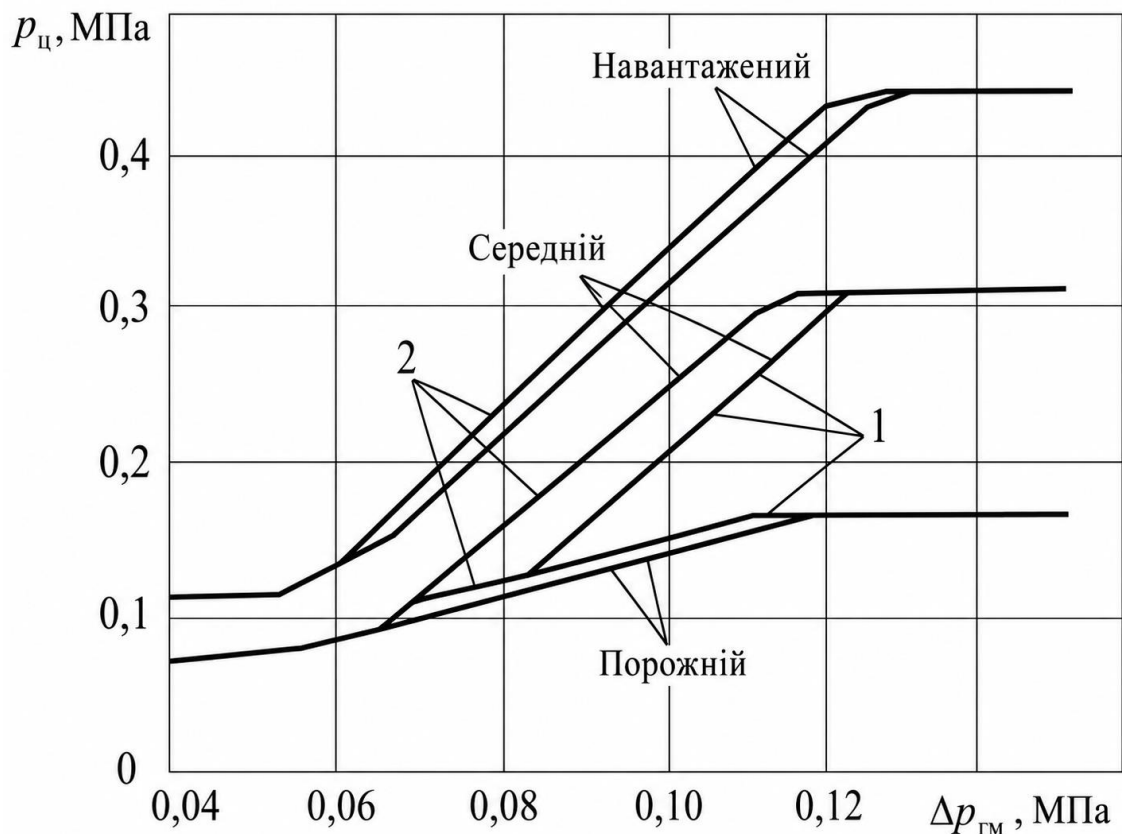
Відомо, що переважна більшість парку вантажних вагонів та локомотивів обладнана розподільником повітря №483. Даний розподільник повітря має складну конструкцію, і в ньому протікає безліч процесів. Створено досить багато моделей процесів, які у повітророзподільниках рухомого складу [7]. Разом з тим, як зазначалося раніше, інерційність ВР невисока, і при вирішенні цілого ряду завдань можна прийняти припущення про безінерційний характер цих процесів, і для їх опису використовувати статичні характеристики розподільників повітря, що пов'язують величину зміни тиску в ТМ і заданого тиску в гальмівному циліндрі.

У роботі статичні характеристики розподільників повітря, а також процеси наповнення та спорожнення гальмівних циліндрах РГЦ моделюється за досвідченими даними, наведеними в [14, 15]. Так статична характеристика розподільника повітря при службовому гальмуванні для розподільників повітря №483 і розподільників повітря №270 показані на рисунку 2.5 згідно [15].

Як вихідні дані використовувалася дослідна крива №2 (рисунок 2.5), що відноситься до повітророзподільника №483, включеному на завантажений режим роботи. Вибір даного типу розподільника повітря обумовлений масовим застосуванням на вантажному рухомому складі в даний час.

Моделювання, статичної характеристики залежності величини тиску в гальмівній циліндрі p_c від величини зниження тиску в гальмівній магістралі p_{TM} при службовому гальмуванні для розподільника повітря №483 включеного на «вантажений» режим роботи, здійснювалося у вигляді кусково-лінійної апроксимації 5 експериментальних даних.

					РДБ.3Т-22д.02 ПЗ	Арк.
						34
Зм.	Арк..	№ докум.	Підпис	Дата		



1 – при повітророзподільнику №270; 2 – при повітророзподільнику №483

Рисунок 2.5 – Статична характеристика при службовому гальмуванні

Для оцінки якості апроксимації експериментальних даних було виконано пробний розрахунок із розрядкою гальмівної магістралі на величину 0,14 – 0,15 МПа, що відповідає повному службовому гальмуванню. В результаті отримано статичну характеристику зміни тиску в гальмівному циліндрі (РГЦ) в залежності від розрядки гальмівної магістралі (РГМ), представленої на рисунку 2.6. Як видно отримана статична характеристика (рисунок 2.6) розподільника повітря №483, включеного на завантажений режим роботи достатньою мірою, узгоджується з досвідченими даними, наведеними на рисунку 2.5.

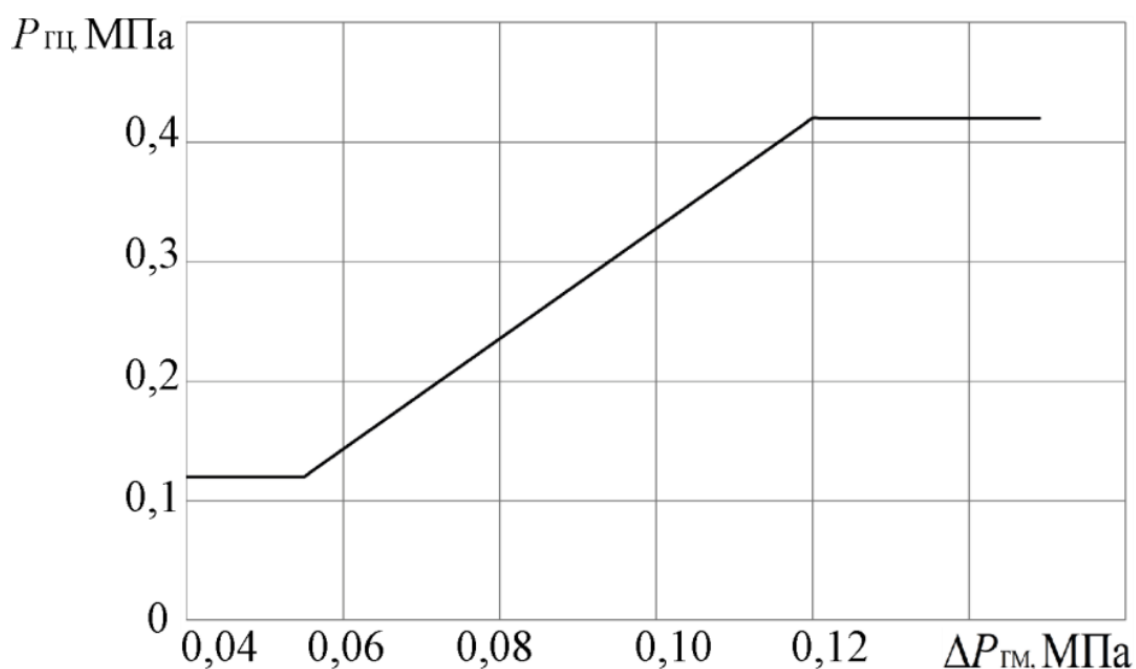


Рисунок 2.6 – Статична характеристика розподільника повітря №483 на завантаженому режимі роботи

Для моделювання наповнення гальмівних циліндрів як вихідні дані було взято графіки зміни тиску в гальмівних циліндрах 100 – вагонного поїзда при екстремому гальмуванні [14], наведені на рисунку 2.7. Крім цього, було використано залежності часу наповнення гальмівних циліндрів від номера вагона [15], наведені на рисунку 2.8. Варто звернути увагу, що наповнення гальмівного циліндра при службовому гальмуванні має аналогічний характер, але більш розтягнуті в часі.

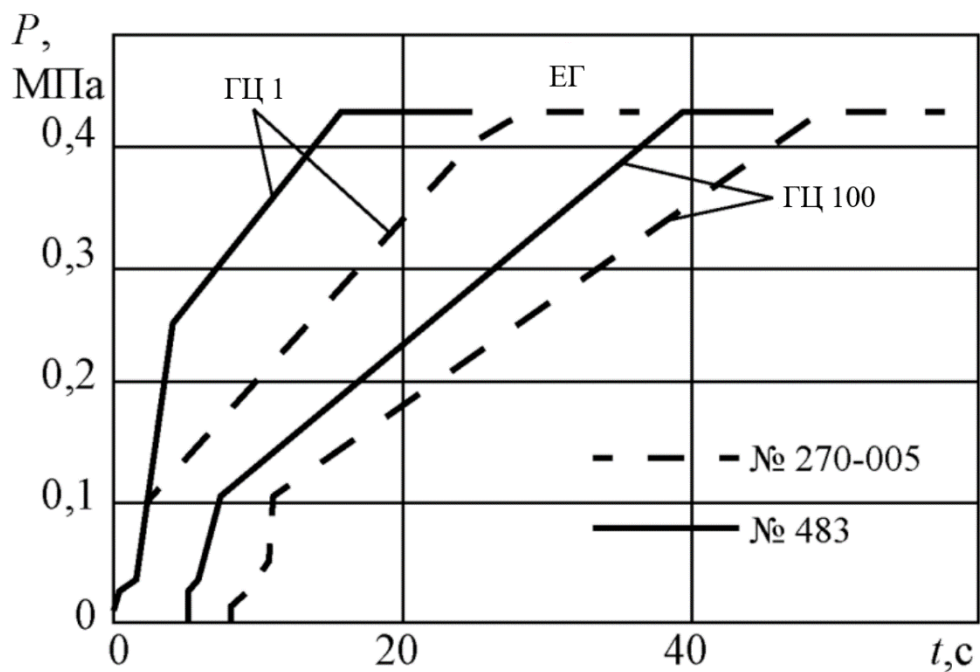


Рисунок 2.7– Зміна тиску в гальмівних циліндрах 100-вагонного поїзда при екстреному гальмуванні

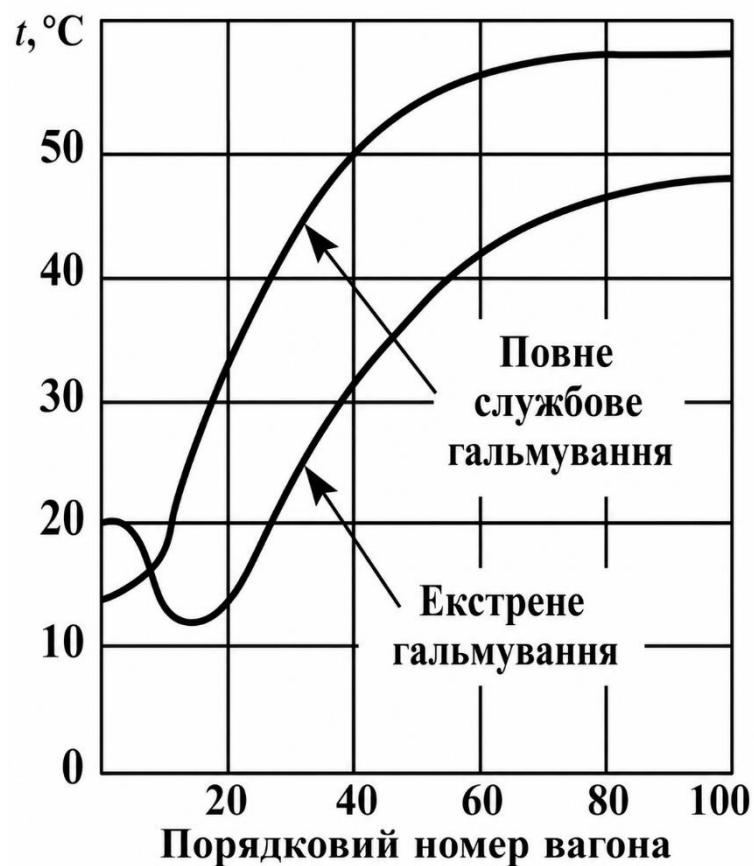


Рисунок 2.8 – Час наповнення гальмівних циліндрів по довжині поїзда

Відомо, що швидкість поширення гальмівної хвилі $v_{тв}$ у вантажному поїзді при розподільниках повітря №483 при службовому гальмуванні становить приблизно 280 м/с.

Відповідно до статичної характеристики повітророзподільника №483 $P_{гц}(\Delta P_{гм})$, представленій на рисунку 2.6 [15], обчислюється тиск, до якого наповнюються гальмівні циліндри кожного екіпажу, а затримка спрацьовування повітророзподільників по довжині поїзда в залежності від розташування вагона щодо локомотива, на якому встановлений.

Для оцінки якості апроксимації експериментальних даних був виконаний пробний експеримент з розрядкою гальмівної магістралі на величину 0,05 МПа, в 99-ти вагонному поїзді обладнанім повітророзподільниками №483, включеними на «завантажений» режим роботи та отримані графіки наповнення гальмівних циліндрів у процесі тормозних циліндрів. На рисунку 2.9 зображено результати описаного моделювання для локомотива та кожного десятого вагона.

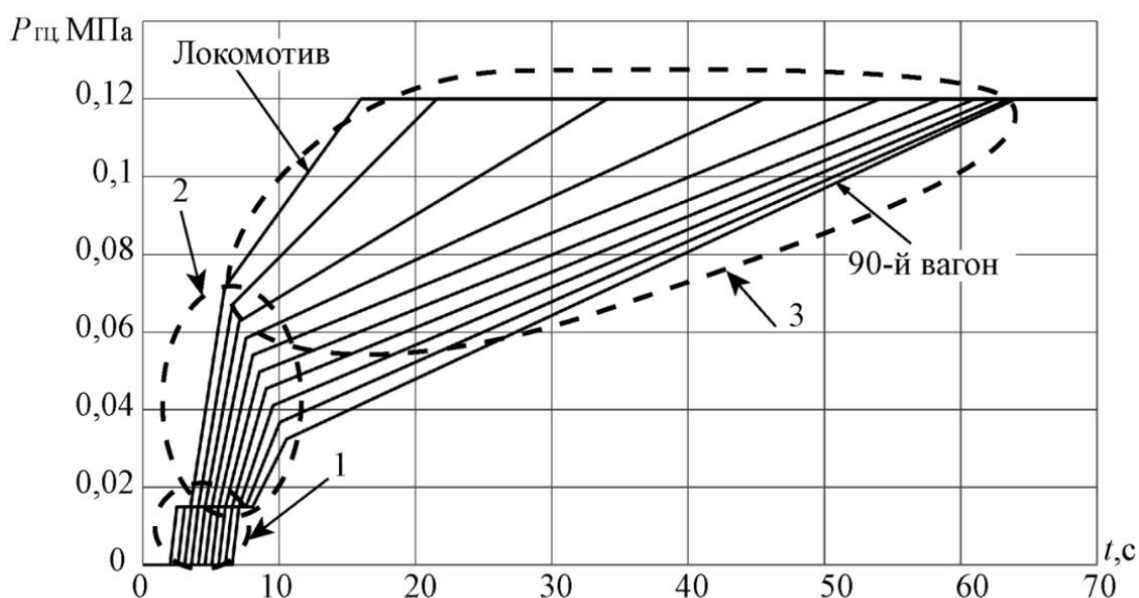


Рисунок 2.9 – Наповнення гальмівних циліндрів у 100-вагонному поїзді при розрядці ГМ на 0,05 МПа

Зм.	Арк..	№ докум.	Підпис	Дата

РДБ.3Т-22д.02 ПЗ

Арк.

38

Як видно, процес наповнення гальмівних циліндрів починається через 2,5 с, після того як гальмівна хвиля дійде до і-го екіпажу, (2,5 с – час, необхідний для розрядки гальмівної магістралі на 0,05 МПа) [11].

Розглянемо детальніше результати моделювання.

Область 1 характеризує початкове наповнення ГЦ внаслідок додаткової розрядки гальмівної магістралі, що проходить, у тому числі, і гальмівний циліндр.

Область 2 відповідає наповненню гальмівного циліндра при максимальному зміщенні зрівняльного поршня головної частини розподільника повітря №483[12] і відсутності переміщення головного поршня.

Область 3 – завершальний етап наповнення ГЦ, коли тиск у гальмівному циліндрі починає вирівнюватись із тиском від пружини зрівняльного поршня [12]. Далі настає перекриш, і наступна зміна тиску ГЦ залежить від команди крана машиніста. У разі необхідності застосувати додатковий ступінь гальмування подальше наповнення гальмівного циліндра відбуватиметься за аналогічним законом, виключаючи область 1.

Як видно отримані графіки залежності наповнення ГЦ від часу ($P_{ГЦ}(t)$) розподільника повітря №483, включеного на завантажений режим роботи достатньою мірою, узгоджується з досвідченими даними, наведеними на рисунку 2.7 і 2.8.

2.5 Функціональна схема системи автоматичного управління пневматичним гальмом

Як зазначалося раніше, завданням, що покладається на САУ пневматичним гальмом, є реалізація підтримки швидкості руху на «шкідливих» спусках, а також реалізація режимів прицільного гальмування.

Відомо, що з огляду на особливості роботи пневматичного гальма неприпустимі занадто короткі або занадто часті гальмування – системі потрібен час для зарядки стисненим повітрям, тому правилами технічного

					РДБ.3Т-22д.02 ПЗ	Арк.
						39
Зм.	Арк..	№ докум.	Підпис	Дата		

Вимірне значення швидкості надходить у систему з виходу вимірювального пристрою (ВП), що є імпульсним датчиком швидкості. Сигнал, що формується датчиком швидкості, містить шуми та похибки вимірювання, обумовлені як конструктивними особливостями датчика, так і дискретним характером обробки інформації у вимірювальному тракті. Так, датчик швидкості, що застосовується на локомотивах АГБР.519.00.00 (датчик кута повороту колісної пари) має відхилення кута повороту, що допускається $\pm 1,30^\circ$, що за швидкості руху поїзда близько 80 км/год призводить до похибки вимірювання швидкості, що сягає приблизно 0,3 км/год [8]. Крім того, як показано в [9], дискретизація і квантування сигналу швидкості у вимірювальному тракті можуть призводити до стрибкоподібного характеру зміни вихідного сигналу, особливо на малих швидкостях, що може викликати процеси, що не встановилися, і погіршення динамічних показників системи автоматичного управління. Для зниження впливу шумів і похибок вимірювального тракту значення вимірної швидкості (v^*), а також фільтрації низьких частот, складових сигналу швидкості, в системі використовується фільтр ковзного середнього, що входить до складу проміжного пристрою ПП2.

Розузгодження (Δv) надходить на вхід пристрою управління (ПУ), вихідний сигнал якого є заданим значенням зміни тиску в гальмівній магістралі поїзда ($\Delta P_{\text{гм1}}$). У проміжному пристрої ПП1 здійснюється вибір моменту початку гальмування чи відпуску, необхідний дотримання обмежень швидкості руху.

Для цього в ПП1 виконується попереджувальний гальмівний розрахунок на основі описаної нижче «точкової» моделі поїзда, при якому враховуються сили опору руху, які визначаються з використанням даних електронної карти колії, а також розрахункових значень сил гальмування. Пристрій АБО-тах здійснює вибір найбільшого значення сигналів ($\Delta P_{\text{гм1}}$) і ($\Delta P_{\text{гм2}}$), що надходять відповідно від пристрою управління та локомотивних пристроїв систем безпеки КЛУБ і БЛОК-М [10, 11].

					РДБ.3Т-22д.02 ПЗ	Арк.
						41
Зм.	Арк..	№ докум.	Підпис	Дата		

Як виконавчий пристрій розглядається описана раніше пневматична гальмівна система поїзда, модель якої враховує кінцеву швидкість поширення гальмівної хвилі за складом, процеси наповнення та спорожнення гальмівних циліндрів, а також затримки спрацьовування розподільників повітря по довжині поїзда в міру віддалення від локомотива. Як модель об'єкта управління використана розглянута раніше багатомасова модель поїзда.

З метою підвищення точності зупинки під час реалізації прицільного гальмування в системі передбачена можливість ідентифікації певних параметрів поїзда, таких як опір руху та коефіцієнта тертя колодки об колесо. Це завдання, розроблене САУ ПГ, виконується з використанням алгоритму розширеного фільтра Калмана - ЕКФ [10, 12]. Функція ідентифікації, сили опору руху та коефіцієнта тертя колодки об колесо виконується в проміжних пристроях ПП2 та ПП1, призначених для визначення точки початку прицільного регулювального або зупинного гальмування поїзда.

Як було зазначено раніше, в проміжному пристрої ПП1 виконується випереджальний гальмівний розрахунок, алгоритм якого змінюється в залежності від розв'язуваної задачі. У своїй роботі алгоритм використовує дані про поточне значення швидкості (v^*) та координати поїзда (x^*), а також значення заданої швидкості ($v_3(x)$) та цільової точки зупинки (x_3). Схема алгоритму вибору методу виконання запобіжного розрахунку для регулювального або зупинного гальмування показано на рисунку 2.11. Як було описано раніше, САУ ПГ реалізує дві основні функції: прицільне регулювальне гальмування (підтримка заданої швидкості) на «шкідливих» спусках і прицільне гальмування зупинки в задану координату шляху. Випереджальний гальмівний розрахунок у блоці ПП1 виконується з використанням "точкової" моделі поїзда.

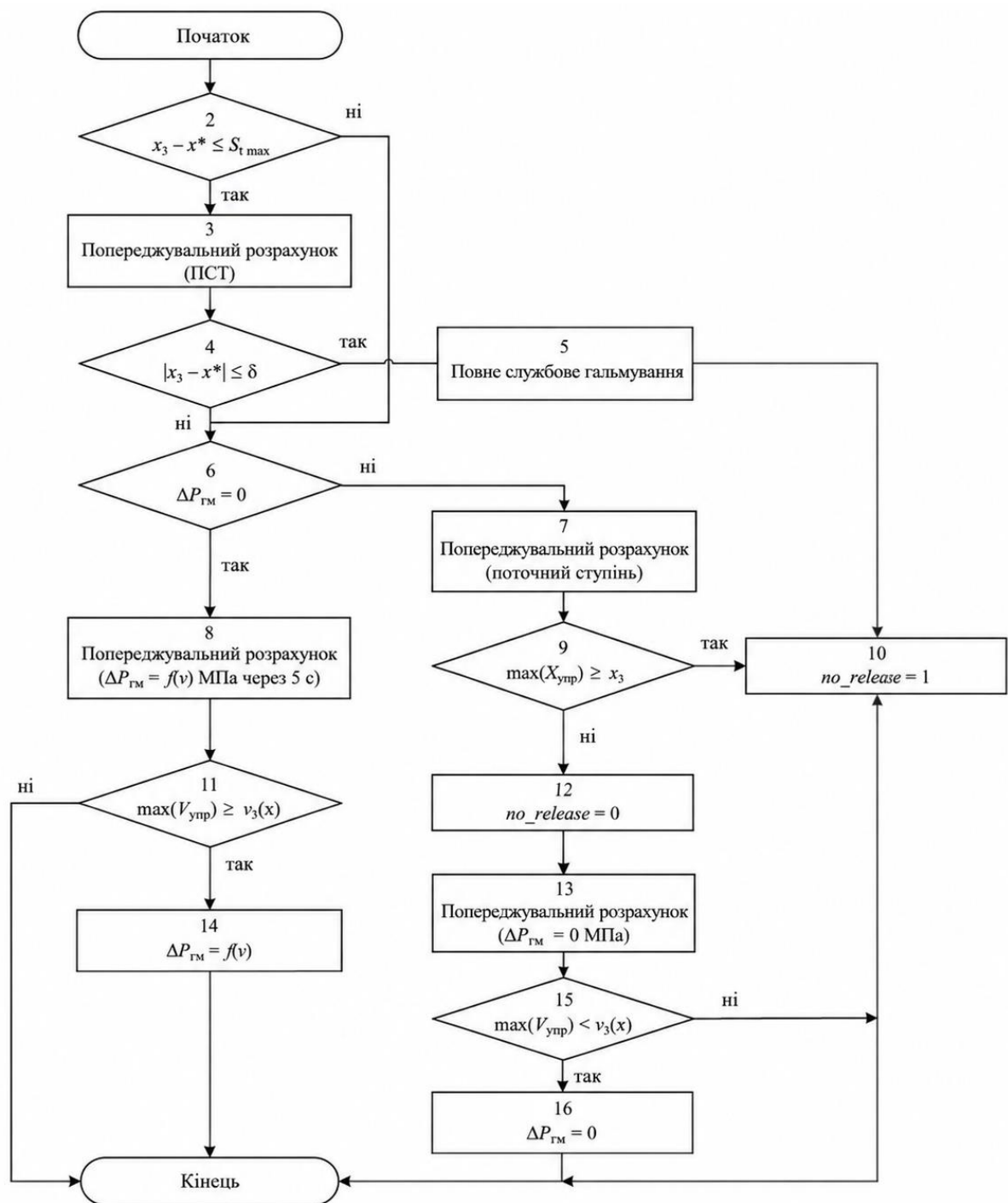


Рисунок 2.11 – Алгоритм роботи САУТ ПГ при виконанні регулювального та зупинного гальмування

2.6 Робота системи автоматичного управління пневматичним гальмом при реалізації прицільного зупинного гальмування

Розглянемо докладніше роботу САУ ПГ при реалізації прицільного зупинного гальмування задану координату шляху. У початковий момент часу в блоці 2 (рисунок 2.15) система обчислює відстань до заданої точки зупинки ($x_3 - x_*$) і порівнює значення з максимальною довжиною гальмівного шляху STMAX поїзда до заданої точки зупинки (x_3). У цій роботі максимальний гальмівний шлях прийнятий рівним 1200 м у відповідність до [13] для вантажених вагонів з конструкційною швидкістю 120 км/год. У тому випадку, якщо обчислена дистанція менша або дорівнює максимально допустимому гальмівному шляху поїзда, в блоці 3 починає виконуватися випереджувальний гальмівний розрахунок, що проводиться в блоці ПП1, з використанням «точкової» моделі поїзда, з метою вибору точки початку гальмування з гальмуванням. Величина розрядки ГМ обрана з умов плавності гальмування та зменшення поздовжніх сил, що виникають у поїзді внаслідок поздовжніх коливань.

Разом з зазначеною умовою в блоці 4 перевіряється точність визначення координати отриманої точки зупинки за критерієм допустимого відхилення від заданого значення. Цей критерій перевіряється з таким інтервалом часу Δt_p , за який поїзд долає відстань, що дорівнює заданій похибці:

$$\Delta t_p = \frac{\delta_x}{v^*},$$

де δ_x – інтервал розрахунку гальмівної кривої, м;
 v^* – виміряна швидкість

					РДБ.3Т-22д.02 ПЗ	Арк.
						44
Зм.	Арк..	№ докум.	Підпис	Дата		

Тільки при виконанні цих двох умов відбувається розрядка ГМ в розрахованій точці на 0,1 МПа, наслідком є наповнення гальмівних циліндрів, гальмівної сили і зниження швидкості до значення 0 км/год в заданій точці зупинки.

У випадку, якщо умова, описана в блоці 2 і блоці 4, не виконується, система переходить до блоку 6, в якому перевіряється зміна тиску в гальмівній магістралі $P_{гм}=0$, тобто відбувається перевірка наявності або відсутності застосованого ступеня гальмування. Якщо до цього вже застосований ступінь гальмування (САУ ПГ знаходиться в режимі прицільного регулювального гальмування), робиться випереджальний розрахунок у блоці 7 з урахуванням поточного ступеня розрядки гальмівної магістралі.

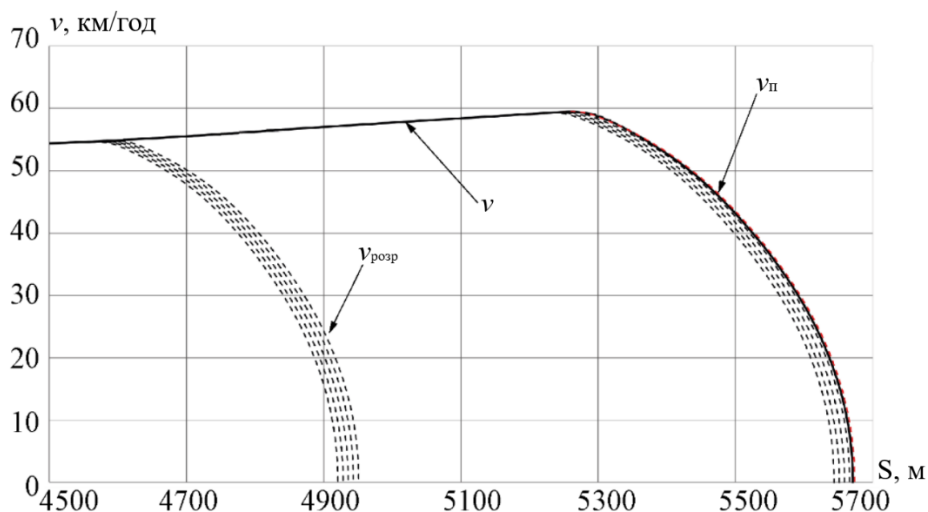
Результат випереджального розрахунку у вигляді обчисленої координати точки зупинки на поточному ступені гальмування порівнюється в блоці 9 із заданою точкою зупинки. У тому випадку, якщо обчислена координата точки зупинки знаходиться на більшому віддаленні від поїзда, ($X_{упр}$ – масив координат локомотива, отриманий при попереджувальному розрахунку при русі поїзда на поточному ступені розрядки ГМ) ніж задана, поїзд продовжує рух у режимі гальмування із застосованим раніше ступенем до моменту початку зупинки. Як було сказано раніше, реалізація алгоритму прицільного зупинного гальмування поїзда заснована на виконанні запобіжного гальмівного розрахунку. На рисунку 2.12 наведено результати розрахунку для режиму прицільного гальмування поїзда в задану координату колії $x_3= 5700$ м. У цьому дослідженні поїзд складається з 70 вагонів і рухається з початковою швидкістю 55 км/год у режимі вибігу по спуску.

Перехід системи до виконання запобіжних розрахунків у цьому дослідженні відбувається, коли локомотив досягає координати $x^*= 4500$ м, оскільки відстань до заданої точки зупинки стає рівним максимальної довжині гальмівного шляху (STMAX), що задовольняє умову, сформульовану в блоці розробленого алгоритму. Пунктирними лініями ($v_{расч}$) представлені результати запобіжних розрахунків швидкості руху локомотива.

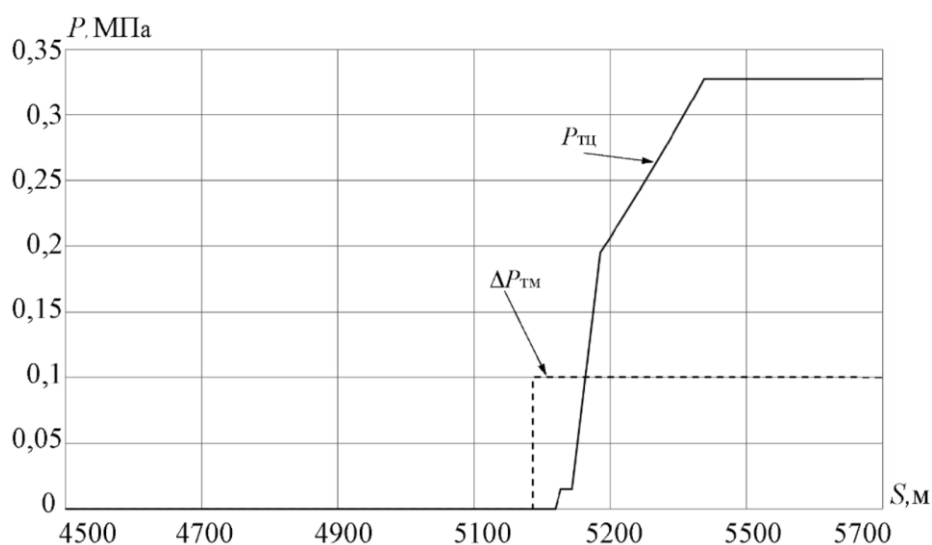
					РДБ.3Т-22д.02 ПЗ	Арк.
						45
Зм.	Арк..	№ докум.	Підпис	Дата		

Кожна крива відповідає прогнозу зміни швидкості за умови негайного застосування розрядки гальмівної магістралі величину 0,1 МПа.

Розрахунок кривих швидкості виконується з кроком у часі, рівним однієї секунді. Для наочності на рисунку показані перші та останні п'ять випереджуючих розрахунків, з-поміж них формуються аналогічні проміжні прогнозні криві швидкості у міру руху поїзда до заданої точки зупинки.



а)



б)

а – швидкість руху поїзда; б – тиск у гальмівних циліндрах $P_{тц}$, ступінь розрядки гальмівної магістралі $\Delta P_{тм}$

Рисунок 2.12 – Приклад запобіжного розрахунку для прицільного зупинного гальмування

Зм.	Арк..	№ докум.	Підпис	Дата

РДБ.3Т-220.02 ПЗ

Арк.

46

У межах ділянки довжиною близько 1200 м система послідовно уточнює розрахункову координату зупинки локомотива. При цьому фактична розрядка гальмівної магістралі не проводиться, оскільки розраховані точки зупинки в даний час не задовольняють умову попадання в допустиму зону похибки. Ця умова визначена в блоці алгоритму і є критерієм вибору моменту початку застосування гальм поїзда.

Остання пунктирна крива розрахованої швидкості руху поїзда, позначена ($v_{уд}$) на рисунку (2.12, а), відповідає випереджувальному розрахунку, у якому розрахована координата зупинки потрапляє у межі допустимої похибки зупинки. Після виконання цієї умови система формує керуючий вплив, в результаті якого відбувається розрядка гальмівної ($\Delta P_{гм}$) магістралі на величину 0,1 МПа (рисунок 2.12 б пунктирна лінія). Далі починається наповнення гальмівних циліндрів ($P_{гц}$), суцільна лінія рисунок (2.12, б), що супроводжується відповідним зниженням швидкості руху поїзда (v).

В результаті реалізації прицільного зупинки гальмування поїзда фактична координата зупинки локомотива склала 5695 м, що відповідає допустимому відхиленню від заданої координати $x_3 = 5700$ м.

2.7 Робота системи автоматичного управління пневматичним гальмом при реалізації прицільного регульовального гальмування перед обмеженням швидкості

Прицільне регульовальне гальмування необхідне зниження швидкості руху поїзда перед місцем початку обмеження швидкості. Робота САУ ПГ при реалізації прицільного регульовального гальмування складається з двох режимів: гальмування перед обмеженням швидкості та відпуску. Розглянемо роботу САУ ПГ у кожному із зазначених режимів окремо.

					РДБ.3Т-22д.02 ПЗ	Арк.
						47
Зм.	Арк..	№ докум.	Підпис	Дата		

Перехід системи до реалізації гальмування перед обмеженням швидкості здійснюється лише за умови, описаного в блоці алгоритму, $\Delta P_{\text{ГМ}} = 0$, тобто. тиск у гальмівній магістралі відповідає зарядному.

У цьому випадку система починає виконувати випереджальний гальмівний розрахунок, що проводиться також у проміжному пристрої ПП1 (рисунок 2.14) з використанням «точкової» моделі поїзда, для вибору точки початку гальмування перед обмеженням швидкості з розрядкою гальмівної магістралі на обчислену ступінь гальмування пропорційної фактичному значенню швидкості та постійної складової:

$$\Delta P_{\text{ГМ}} = 0,05 + K_1 \frac{d(\Delta v)}{dt} + K_2 v$$

де K_1 – коефіцієнт при диференціальній частині закону управління;

K_2 – коефіцієнт пропорційності при складовій фактичної швидкості руху;

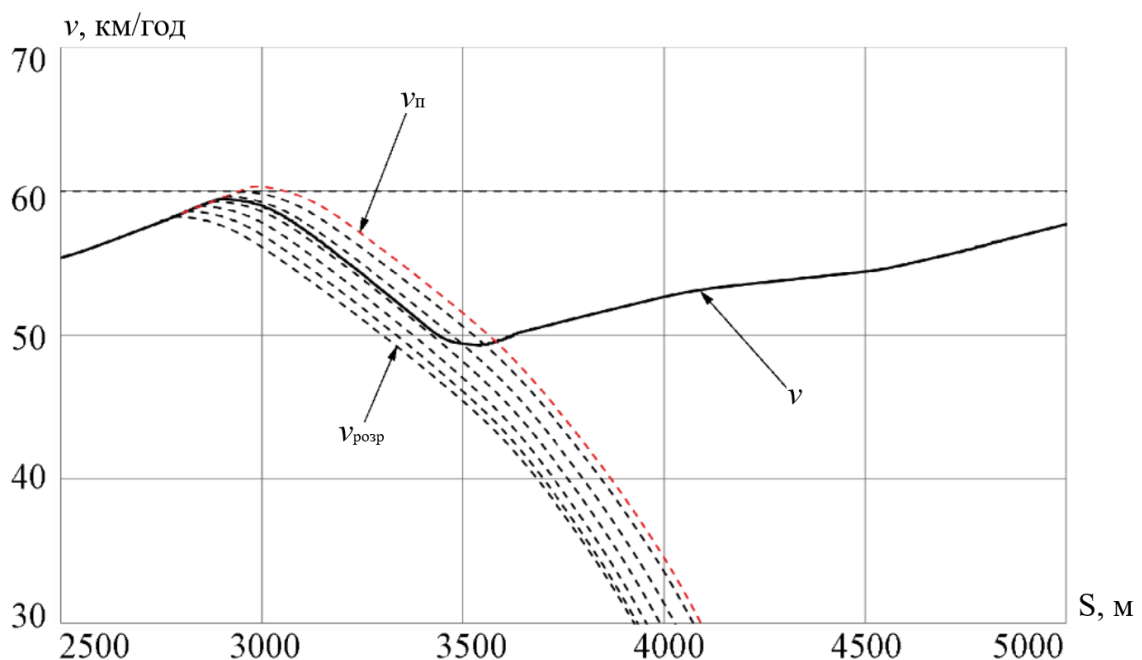
0,05 – постійна складова, що відповідає мінімальному ступеню розрядки ГМ.

Як було сказано раніше, в даному дослідженні як закон управління вибраний пропорційно-диференціальний (ПД) регулятор, що дозволяє забезпечити працездатність системи управління пневматичним гальмом, механічна характеристика якого є нестійкою. Пропорційна складова закону управління дозволяє збільшувати керуючий вплив зі збільшенням швидкості з метою компенсації ефекту від зменшення величини коефіцієнта тертя колодок об колесо. Диференціююча складова забезпечує швидкодію регулятора та його реакцію на швидкість зміни неузгодженості [13]. Обґрунтування вибору даного типу регулятора наведено у [15].

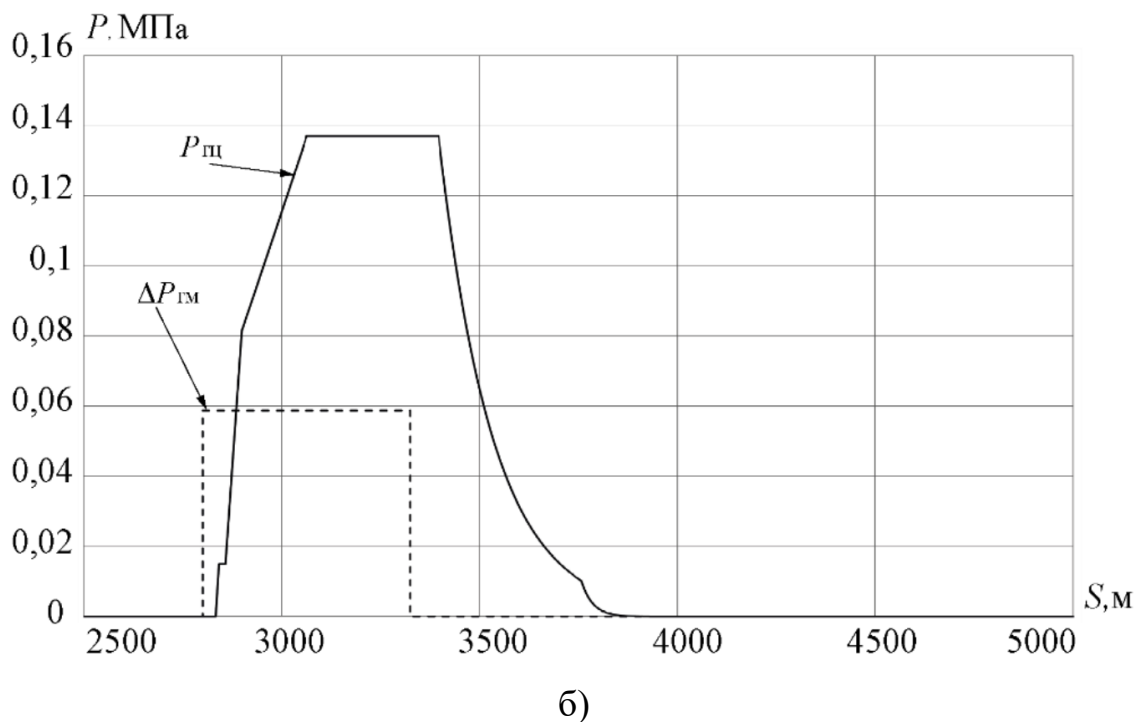
Результатом запобіжного розрахунку є крива швидкості руху поїзда, із застосованою ступенем розрядки гальмівної магістралі через 5 с від поточного моменту часу.

Після виконання випереджальних розрахунків відбувається порівняння отриманих кривих швидкості руху поїзда із заданим обмеженням на даній ділянці колії в блоці 11. Якщо обчислене значення швидкості більше або дорівнює заданій ($\max(V_{\text{упр}}) \geq v_z(x)$), від ПУ1 надходить сигнал на вхід УУ про момент початку гальмування, який у свою видає сигнал про розрядку гальмівної магістралі на раніше обчислену ступінь гальмування (блок 14). У тому випадку, якщо отримане значення швидкості не задовольняє умови, записані раніше, поїзд продовжує слідувати на вибігу.

На рисунку 2.13 (а, б) наведено результати розрахунку для режиму прицільного регульовального гальмування. У цьому дослідженні поїзд, що складається з 70 вагонів, рухаючись зі швидкістю 55 км/год у режимі вибігу по спуску, наближається до місця початку обмеження швидкості рівним 60 км/год на даній ділянці колії. З моменту останнього гальмування пройшло більше 60 с, що дозволяє починати виконувати випереджувальні розрахунки нового гальмування.



а)



а – швидкість руху поїзда; б – тиск у гальмівних циліндрах $P_{\text{ш}}$, ступінь розрядки гальмівної магістралі $\Delta P_{\text{гм}}$

Рисунок 2.13 – Приклад серії запобіжних розрахунків для регульовального гальмування при наближенні до обмеження швидкості

Пунктирними лініями (рисунок 2.13 а) позначені криві швидкості руху поїзда, із застосованою ступенем розрядки гальмівної магістралі, обчисленої за формулою, через 5 с від поточного моменту часу. При застосуванні гальм за будь-яким із показаних розрахунків ($v_{\text{розр}}$) гарантується не перевищення швидкості руху поїзда, проте не виконується умова $\max(V_{\text{упр}}) \geq v_z(x)$ записане в блоці 11, необхідне більш ефективної реалізації прицільного гальмування і меншого зниження швидкості. У момент часу, коли розрахована крива швидкості перевищує встановлене значення обмеження ($v_{\text{п}}$) від ПУ1 надходить сигнал на вхід УУ момент початку гальмування, який у свою чергу видає сигнал на початок розрядки гальмівної магістралі на раніше обчислену ступінь гальмування згідно ($\Delta P_{\text{гм}}$ – пунктирна лінія).

Наслідком цього є зростання тиску в гальмівних циліндрах ($P_{гц}$ – суцільна лінія на рисунку 2.13, б), що супроводжується відповідним зниженням швидкості руху поїзда. Як видно з отриманих результатів, швидкість руху поїзда не перевищила встановленого обмеження 60 км/год (v – суцільна лінія рисунок 2.13, а).

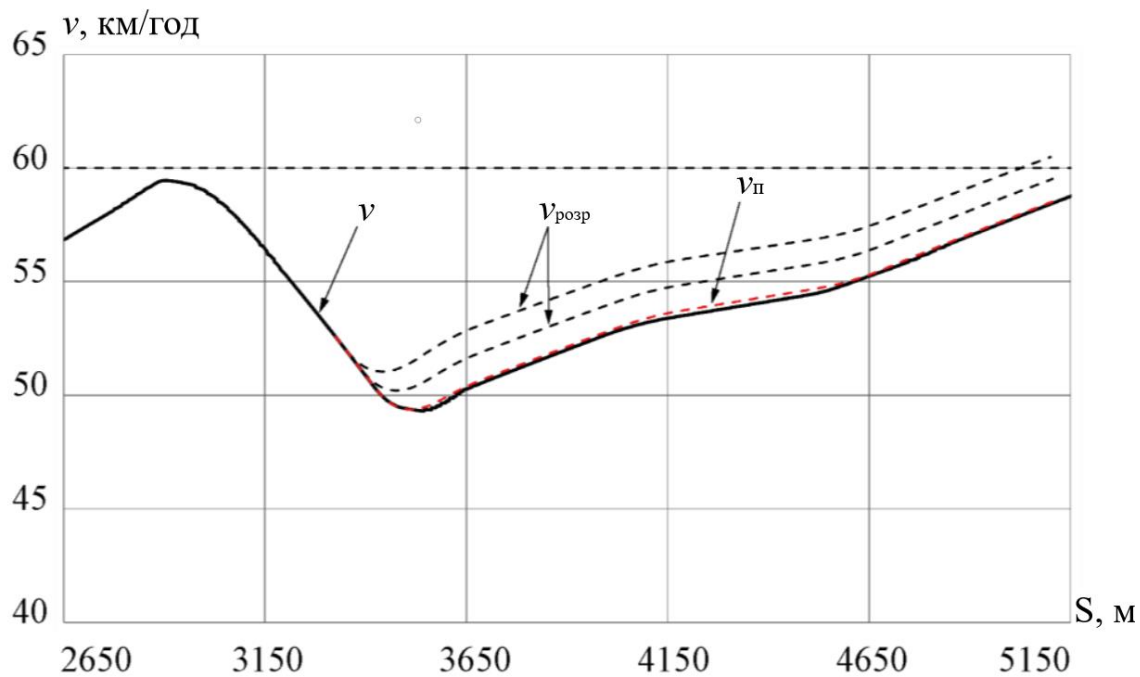
Перехід системи до відпуску після застосування гальм перед обмеженням швидкості здійснюється лише за невиконання умов, описаних у блоках 6 і 9 (рис. 2.11), тобто поїзд рухається на раніше застосованому ступені гальмування, і обчислена координата точки зупинки знаходиться на більшій відстані від поїзда, ніж задана. Після цього система починає виконувати випереджувальні розрахунки для відпуску гальм, з урахуванням наступних обмежень, при невиконанні будь-якого з них система продовжить рух на раніше вибраному ступені гальмування:

- виконання умови відсутності проїзду заданої точки зупинки хз;
- мінімальний час знаходження на щаблі перевищує 30 с;
- при відпуску гальм через мінімальний час для заряджання ГМ (60 с)

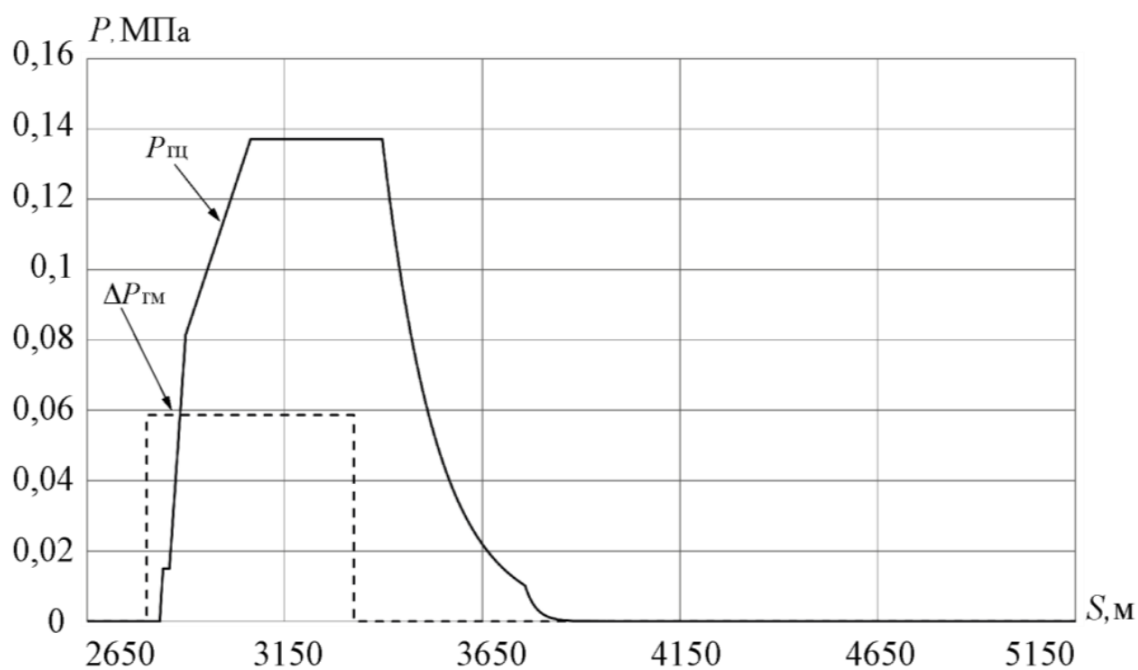
не буде перевищено встановлену швидкість на заданому перегоні.

Ці умови перевіряються послідовно. Перевірка останньої умови проводиться в блоці 15. Таким чином, якщо через 60 с на обчисленій кривій швидкості не виявляється перевищення встановленого обмеження швидкості, формується команда на відпуск гальм.

На рисунку 2.14 наведено результати запобіжного розрахунку для відпуску гальм. Це дослідження продовжує попереднє, тут гальма поїзда використані, з моменту розрядки гальмівної магістралі пройшло більше 28 секунд.



а)



б)

а – швидкість руху поїзда; б – тиск у гальмівних циліндрах $P_{гц}$, ступінь розрядки гальмівної магістралі $\Delta P_{гм}$

Рисунок 2.14 – Приклад серії запобіжних розрахунків для регульовального гальмування під час відпуску гальм

Зм.	Арк..	№ докум.	Підпис	Дата

РДБ.3Т-220.02 ПЗ

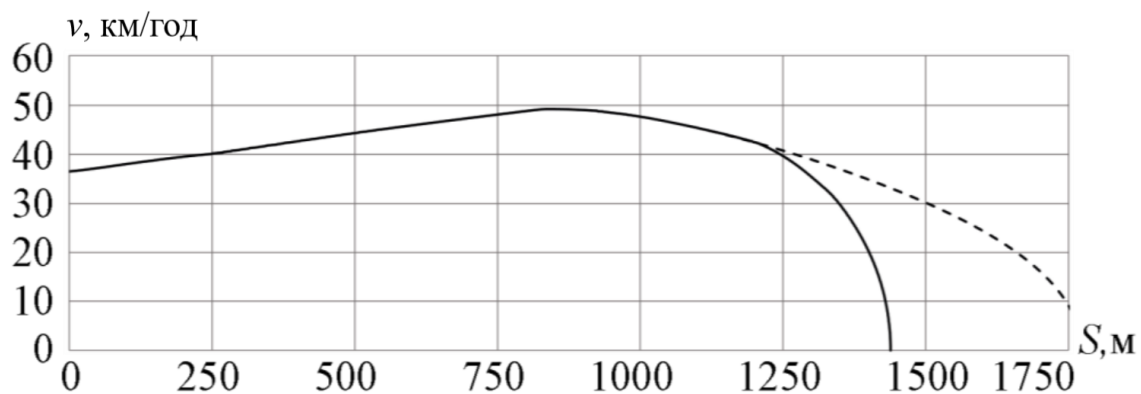
Арк.

52

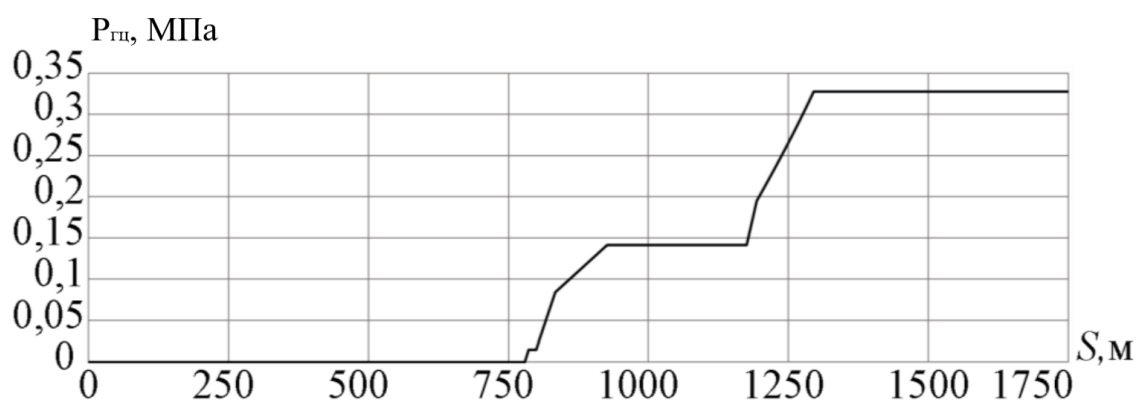
Розрахунок починає виконуватися за 2 с до дозволеного відпуску за умовою мінімального часу перебування на щаблі гальмування рівному 30 с. Пунктирними лініями (рисунок 2.14, а) позначені криві швидкості руху поїзда, у разі відпуску гальм через і 28, 29 та 30 секунд після початку гальмування. Розрахункові криві швидкості руху поїзда обчислюються на 120 з вперед від поточного часу. На графіці видно, що жодна з розрахункових кривих не перевищила встановленого обмеження швидкості 60 км/год протягом наступних 60 с. Однак у кривих, відзначених чорною пунктирною лінією, побудованих в момент часу 28, 29 ($v_{роз}$), не виконується умова мінімального часу перебування на рівні гальмування. Тому відпуск відбувався у відповідність до червоної пунктирної кривої швидкості ($v_{п}$), побудований на момент часу 30 с після початку гальмування.

Наслідком цього є зростання тиску в гальмівній магістралі поїзда ($\Delta P_{гм}$ – пунктирна лінія рисунок 2.14, б), що супроводжується відповідним збільшенням швидкості руху поїзда (v – суцільна лінія рисунок 2.14, а). Остання, своєю чергою, не перевищила встановленого обмеження швидкості протягом 60 с.

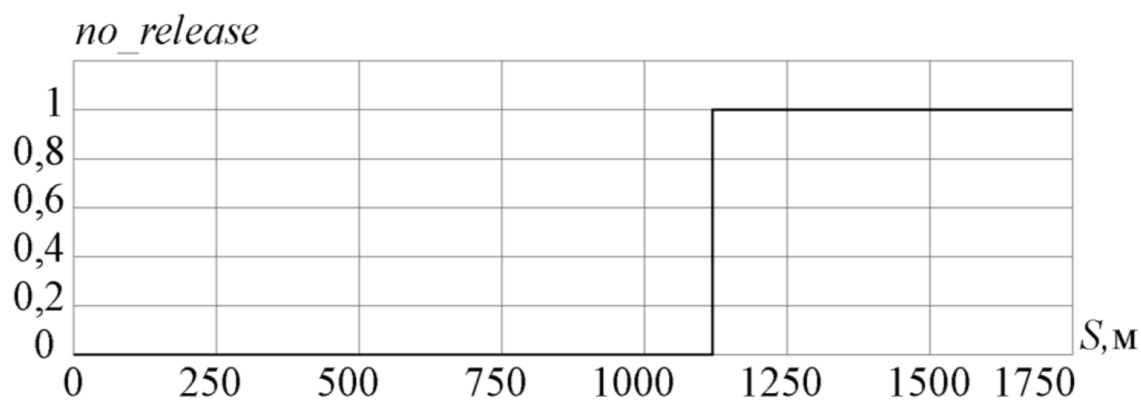
Окремо слід зазначити, що при необхідності застосування зупинного гальмування може статися конфліктна ситуація, за якої може бути порушена умова послідовності та тривалості операцій з керування гальмівними приладами [15]. Наприклад, при регулювальному гальмуванні був сформований сигнал на відпуск гальм, а через деякий час настає необхідність застосування зупинного гальмування, яке не зможе бути виконане тому, що не пройде мінімальний проміжок між гальмуваннями, наслідком чого буде проїзд заданої точки зупинки. З метою запобігання подібній ситуації в систему закладено функцію заборони відпуску (блокування) "no_release=1", реалізована в блоці 10. Приклад роботи описаної функції системи наведено на рисунку 2.15.



а)



б)



в)

а – швидкість руху поїзда; б – тиск у гальмівних циліндрах $P_{гц}$; в – сигнал блокування відпуску

Рисунок 2.15 – Формування сигналу заборони відпуску при регульовальному гальмуванні

Зм.	Арк..	№ докум.	Підпис	Дата

РДБ.3Т-220.02 ПЗ

Арк.

54

У початковий момент поїзд рухається на вибігу по спуску зі швидкістю 38 км/год, величина обмеження швидкості становить 50 км/год. При наближенні величини фактичної швидкості до обмеження в момент часу 18 с виконується гальмування з розрядкою гальмівної магістралі на величину $\Delta P_{\text{ГМ}}$, в результаті чого до моменту часу $t = 28$ с в гальмівних циліндрах ГЦ встановлюється тиск 0,0. На ділянці колії з координатою 1250 м відпуск гальма блокується за критерієм мінімального часу знаходження в режимі гальмування, а після цього – за критерієм неперевищення швидкості під час руху на вибігу протягом допустимого мінімального часу до наступного гальмування. За 1200 м до заданої точки прицільного зупинного гальмування відповідно до описаного раніше алгоритму починає виконуватися розрахунок на вибір координати точки початку гальмування. В результаті при знаходженні поїзда в точці з координатою 1200 м застосовується ступінь гальмування $\Delta P_{\text{ГМ}}$ та значення величини розрядки ГМ досягає 0,1 МПа, при цьому тиск ГЦ досягає величини 0,35 МПа. Зупинка поїзда відбувається у точці з координатою 1400 м.

					РДБ.3Т-220.02 ПЗ	Арк.
						55
Зм.	Арк..	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

1. Проаналізовано розроблені та діючі системи автоматичного управління пневматичним гальмом рухомого складу. Показано, що недоліком існуючих систем є невисока точність при реалізації прицільного гальмування, зумовлена відсутністю в системі об'єктивної інформації про фактичний стан гальмівної системи та рухомого складу, що впливають на величини сил гальмування та опору руху.

2. Проаналізовано методи дослідження роботи елементів пневматичної гальмівної системи рухомого складу. Показано, що багато сучасних методів мають високу ресурсоемність, що ускладнює їх реалізацію у вбудовуваних бортових обчислювальних системах. Додатковою складністю їх застосування є необхідність точного завдання параметрів всіх компонентів гальмівної системи, що також у процесі експлуатації рухомого складу.

3. Проаналізовано підходи щодо ідентифікації параметрів технічних об'єктів. Показано, що широке застосування для вирішення задачі ідентифікації знаходить фільтр Калмана, який забезпечує достатню точність оцінки параметрів системи в режимі реального часу.

4. Розроблено функціональну схему та алгоритми роботи адаптивної системи автоматичного управління пневматичним гальмом. Алгоритм роботи системи автоматичного управління передбачає реалізацію режимів прицільного регулювального гальмування під час руху по спуску, а також прицільного гальмування зупинки.

5. Розроблено математичну модель системи автоматичного управління пневматичним гальмом, що включає в себе пристрій (автомашиніст), проміжний пристрій (ПП1), що виконують попереджувальні гальмові розрахунки і проміжний пристрій, що виконує ідентифікацію параметрів поїзда і гальмівної системи. Виконавчим пристроєм даної системи є пневматичне гальмо.

					РДБ.3Т-22д.02 ПЗ	Арк.
						56
Зм.	Арк..	№ докум.	Підпис	Дата		

6. Виконані пробні розрахунки перехідних процесів у системі автоматичного управління. Показано, що САУ забезпечує прицільне регульовальне гальмування на спуску без перевищення встановленої швидкості. Для підвищення точності реалізації прицільного гальмування необхідно виконувати визначення параметрів гальмівної системи, навіщо в системі передбачено реалізацію процедури ідентифікації.

					РДБ.3Т-220.02 ПЗ	Арк.
						57
Зм.	Арк..	№ докум.	Підпис	Дата		

ЛІТЕРАТУРА

1. Баранов, Л.А. Мікропроцесорні системи автоведення електрорухомого складу / Л.А. Баранов, Є.В. Єрофєєв, В.М. Максимов; За ред. Л.А. Баранів. - М.: Транспорт, 1990. - 272 с.
2. Методичні вказівки щодо визначення техніко-економічної ефективності нових та вдосконалених електровозів. - М.: Транспорт, 1986.
3. Некрасов, О.А. Режим роботи магістральних електровозів/О. А. Некрасов. - М.: Транспорт, 1983.
4. Чуєв, С.Г., Гальмівне та пневматичне обладнання тепловозів ТЕМ7 та ТЕМ7А / С.Г. Чуєв, П.М. Тагієв // Локомотив. - 2011. - № 4. - С. 38 - 41.
5. Золкін, А.Л. Переваги електропневматичного гальма у вантажних поїздах / А.Л. Золкін, А.Р. Галіуллін // Світ транспорту. – 2014. – № 5. – С. 66–69.
6. Пудовіков, О.Є. Моделювання режиму регульовального гальмування довгоскладного поїзда / О.Є. Пудовіков, С.А. Муров // Світ транспорту. – 2014. – № 4. – С. 28–31.
7. Мірошник, І.В. Теорія автоматичного керування. Нелінійні та оптимальні системи: навчальний посібник / І. В. Мірошник. 2006. - 273 с.
8. Spiryagin, M. Design i simulation rail vehicles / M. Spiryagin, C. Cole, Y. Q. Sun, M. McClanachan, V. Spiryagin, T. McSweeney. - Boca Raton: CRC Press, 2014.
9. Блохін, Є.П. Динаміка поїзда (нестационарні позовжні коливання) / Є.П. Блохін, Л.А. Манашкін: Транспорт, 1982. - 222 с.
10. Блохін, Є.П., Розрахунки та випробування великовагових поїздів//Є.П. Блохін, Л.А. Манашкін, Є.Л. Стамблер та ін; За ред. Є.П. Блохіна - М.: Транспорт, 1986. - 263 с.
11. Ісаєв, І.П. еорія електричної тяги / Е. Розенфельд, Н.Н. Сидоров, М.І. Озеров; за ред. І.П. Ісаєва: Транспорт, 1995. - 294 с.

					РДБ.3Т-22д.02 ПЗ	Арк.
						58
Зм.	Арк..	№ докум.	Підпис	Дата		

12. Менакер, Г.М. Система автоматичного керування пневматичним гальмуванням вантажного поїзда з функцією ідентифікації параметрів гальма/Г.М. Менакер, О.Є. Пудовіков // Вісті Транспорту. - 2025. - № 3 (63). - С. 60-72.

13. Галай, Е.І. Гальмівні системи залізничного транспорту. Конструкція гальмівного обладнання: навчальний посібник / Е.І. Галай, Е.Е. Галай. – Гомель: 2010. – 315 с.

14. Пудовіков, О.Є. Система управління пневматичним гальмом вантажного поїзда / О.Є. Пудовіков, Г.М. Менакер // Електротехніка. - 2023. - № 9. - С. 34-39.

15. Баранов, Л.А. Система автоматичного управління швидкістю приміського електропоїзда / Л.А. Баранов, В.І. Легка, О.Є. Пудовіков // Електротехніка. - 2024. - № 9. - С. 81-88.

16. Менакер, Г.М. Адаптивна система автоматичного керування пневматичним гальмом вантажного поїзда / Г.М. Менакер, О.Є. Пудовіков. - Текст: безпосередній // Вісник державного університету. - 2025. - № 2 (98). - С. 132-144.

17. Кузьміна, Є.І. Вибір оптимальної схеми наповнення пневматичних гальм локомотива / О.І. Кузьміна // Вісник ВНІЖТ. - 1962. - № 4. - С. 40-44.

					РДБ.3Т-220.02 ПЗ	Арк.
						59
Зм.	Арк..	№ докум.	Підпис	Дата		