

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
НАУКИ І ТЕХНОЛОГІЙ

*Кафедра «Локомотиви»*

«ДО ЗАХИСТУ»

в.о. зав. кафедрою

*В.Є. Боднар*

« 17 » 12 2021 р.

**ДИПЛОМНА РОБОТА**

на здобуття освітнього ступеня «магістр»

Галузь знань: **27 «Транспорт»**

Спеціальність: **273 «Залізничний транспорт»**

Спеціалізація **«Локомотиви та локомотивне господарство»**

**УДОСКОНАЛЕННЯ РЕЖИМІВ ВЕДЕННЯ ПАСАЖИРСЬКИХ ПОЇЗДІВ  
ТЕПЛОВОЗАМИ**

**IMPROVING MODES PASSENGER TRAINS CONDUCTING BY DIESEL  
LOCOMOTIVES**

**0032.160171.000.03MP.ПЗ**

Керівник дипломного  
проекту

*Д.М. Кислий*

Нормоконтролер

*Л.В. Колодій*

Виконавець: студент  
групи ЛГ2021

*Є.А. Мелаєв*

Student

*Е.А. Melaev*

## РЕФЕРАТ

Магістерська дипломна робота на тему «Удосконалення режимів ведення пасажирських поїздів тепловозами» загальним обсягом 6 листів демонстраційного матеріалу та 90 аркушів розрахунково-пояснювальної записки, яка складається з 4 розділів. Робота містить 25 ілюстрацій, 1 таблицю та список літературних джерел з 13 найменувань.

Об'єктом дослідження в магістерській дипломній роботі виступає процес переміщення поїзда. Предмет дослідження – тягові розрахунки. Мета – удосконалення режимів ведення поїздів.

При аналізі розв'язання рівняння руху поїзда визначено, що оптимальним режимом руху поїзда є режим з трапецеїдальною залежністю швидкості від часу. При удосконаленні режимів ведення пасажирських поїздів визначено переваги систем раціонального ведення. Удосконалено математичну модель розв'язання рівняння руху поїзда, яку адаптовано для оптимізації параметрів руху поїздів. Визначено, що при експлуатації поїздів необхідний великий запас сили тяги, яка може створювати значне прискорення. При огляді факторів безпеки визначено раціональне значення прискорення та визначено відповідні залежності керування локомотивом поїзда певної маси для його реалізації. За порівнянням результатів можна стверджувати, що при обмеженні прискорення технічна швидкість майже не зазнає змін, а витрати дизельного палива зменшуються до 4%. На підставі цих даних проведено економічне обґрунтування впровадження системи автоматичного ведення з реалізацією функції обмеження прискорення.

Ключовими словами в магістерській дипломній роботі виступають: РЕЖИМ ВЕДЕННЯ, АВТОМАТИЗАЦІЯ, ПРИСКОРЕННЯ, УДОСКОНАЛЕННЯ, ТЯГА ПОЇЗДІВ, РІВНЯННЯ РУХУ ПОЇЗДА, ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ, ПОЇЗДКА, МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ.

					0032.160171.000.03MP.ПЗ	Арк.
						4
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1 ОГЛЯД МЕТОДИК РОЗВ'ЯЗАННЯ РІВНЯННЯ РУХУ ПОЇЗДА.....	9
1.1 Огляд основних понять тягових розрахунків .....	9
1.2 Аналіз методик розв'язання рівняння руху поїзда.....	11
1.3 Аналіз режимів руху поїздів.....	18
2 УДОСКОНАЛЕННЯ РЕЖИМІВ ВЕДЕННЯ ПОЇЗДІВ .....	22
2.1 Обґрунтування переваг систем раціонального ведення поїздів .....	22
2.2 Вибір методу інтегрування рівняння руху поїзда .....	23
2.3 Метод спостереження при різв'язанні рівняння руху поїзда.....	26
2.4 Вибір критерію оптимальності руху поїзда та його обмежень.....	27
2.5 Приведення рівняння руху поїзда до аналітичного вигляду.....	31
2.6 Побудова діаграми питомих рівнодіючих сил.....	35
2.7 Розв'язання гальмівної задачі.....	39
2.8 Побудова кривих швидкості та часу ходу поїзда.....	44
2.9 Визначення витрат енергоресурсів .....	47
2.10 Визначення параметрів обмеження прискорення .....	48
3 ВИЗНАЧЕННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ВІД УДОСКОНАЛЕННЯ РЕЖИМІВ ВЕДЕННЯ ПАСАЖИРСЬКИХ ПОЇЗДІВ.....	53
3.1 Розрахунок економічного ефекту від впровадження системи ведення поїздів .....	53
4 РОЗРОБКА СИСТЕМИ ДЛЯ УДОСКОНАЛЕННЯ РЕЖИМІВ ВЕДЕННЯ ПАСАЖИРСЬКИХ ПОЇЗДІВ .....	59
4.2 Принцип будови та робота систем автоматичного ведення поїздів.....	60

					<i>0032.160171.000.03MP.ПЗ</i>					
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	<i>Удосконалення режимів ведення пасажирських поїздів тепловозами</i>					
<i>Розроб.</i>		<i>Мелаєв</i>						Лім.	Арк.	Акрушіє
<i>Перевір.</i>		<i>Кислий</i>						Н	5	90
<i>Реценз.</i>								<i>УДУНТ, зр. ЛГ2021</i>		
<i>Н. Контр.</i>		<i>Колодій</i>								
<i>Затверд.</i>		<i>Баднар</i>								

4.3 Умови роботи систем автоведення та автоматичного управління .....	66
4.4 Уніфікована система автоматизованого ведення поїздів .....	67
4.5 Загальні вимоги до апаратно-програмного комплексу .....	74
4.6 Технічна реалізація апаратно-програмного комплексу .....	75
ВИСНОВКИ .....	87
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ .....	89

					<i>0032.160171.000.03MP.ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		6

## ВСТУП

За останні роки відбулися істотні зміни умов роботи залізниць, зросли збитки від перевізної діяльності і, в першу чергу, від пасажирських перевезень. Незважаючи на зменшення обсягів перевезень за останні роки умови роботи залізниць України залишаються важкими.

Щоб задовольняти запити й потреби споживачів послуг залізничного транспорту (вантажовідправників та пасажирів), залізниці створюють маркетингові підрозділи, які активно долучаються до вивчення цих потреб і впроваджують нові конкурентноспроможні послуги. Діяльність, що не приносить доходу залізницям і безпосередньо не пов'язана з транспортними операціями буде поступово згортатися, а відповідні підрозділи вилучатися з організаційної структури залізниць.

Залізничний транспорт є одним із найбільших споживачів енергетичних ресурсів. При загальному споживанні в державі 129,3 млрд кВт год/рік електроенергії витрати Укрзалізниці складають майже 5,8 млрд кВт год, або 43%, а що до дизельного палива, то при загальних його витратах 4,9 млн т, витрати Укрзалізниці становлять 50,4 млн т або 10,3%.

Тому організація енергозбереження на залізничному транспорті має не лише загальногалузеве, а й загальнодержавне значення. Найбільші витрати паливно-енергетичних ресурсів припадають безпосередньо на тягу поїздів.

Суттєву допомогу машиністам поїздів можуть надати режимні карти, які містять необхідні рекомендації щодо режимів ведення, системи централізованого та автоматичного ведення поїздів.

Для зменшення трудовитрат на розробку та коригування режимних карт, гарантії правильності та об'єктивності результату необхідна алгоритмізація вирішення цього завдання за рахунок використання передових систем ведення поїздів.

Об'єктом дослідження в магістерській дипломній роботі виступає процес переміщення поїзда. Предмет дослідження – тягові розрахунки. Мета –

					0032.160171.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

удосконалення режимів ведення поїздів.

Задачі дослідження:

- огляд методів та методик рішення рівняння руху поїзда;
- розробка програми тягових розрахунків для ведення пасажирських поїздів тепловозами;
- автоматизація вирішення рівняння руху поїзда;
- визначення напрямів удосконалення тягових розрахунків;
- раціоналізація ведення поїзда за обраними критеріями.

					<i>0032.160171.000.03MP.ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		8

# 1 ОГЛЯД МЕТОДИК РОЗВ'ЯЗАННЯ РІВНЯННЯ РУХУ ПОЇЗДА

## 1.1 Огляд основних понять тягових розрахунків

Предметами вивчення тяги поїздів є основні зовнішні горизонтальні сили, що діють на поїзд при русі, а саме:

- сила тяги локомотивів;
- сили опору руху;
- гальмівні сили.

Сила тяги локомотива – керована машиністом зовнішня сила, створювана локомотивними енергетичними установками при взаємодії коліс з рейками і спрямована в бік руху. Вивчається природа і специфіка сили тяги різних типів локомотивів, процес її утворення та реалізації, обмеження сили тяги по потужності локомотивів і за умовами контакту (зчеплення) коліс з рейками (обмеження сили тяги по зчепленню). Останнє обмеження, що має основне значення для залізничного транспорту і називається основним законом локомотивної тяги: *величина реалізованої локомотивом сили тяги  $F$  не може бути більше певної частини ваги, переданої на рейки його ведучими колесами і званого зчипною вагою локомотива:*

$$F \leq \psi P, \quad (1.1)$$

де  $\psi$  – коефіцієнт зчеплення, який є аналогом коефіцієнта тертя ковзання.

Сили опору руху, існуючі об'єктивно, спрямовані в бік, протилежний напрямку руху поїзда, та перешкоджають йому. Вони є некерованими і не залежать від машиніста локомотива, в наземному транспорті мають двояку природу. Сили основного опору викликані тертям, його різними видами:

- тертя в підшипниках букс;
- тертя кочення колеса по рейці та тертя ковзання в їх контакті, має місце через пружності металу колеса та рейки і внаслідок конусності поверхні кочення

					0032.160171.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

коліс;

- тертя об повітря (аеродинамічний опір);
- розсіювання енергії при взаємодії коліс рухомого складу і рейок через деформації верхньої будови колії та ударів на стиках рейок.

Значення складових сил основного опору оцінюються в тягових розрахунках їх сумою, величина якої приймається в розрахункових формулах залежної від типу рухомого складу, осьових навантажень та швидкості руху. Зі збільшенням швидкості сили основного опору зростають.

Друга складова сил опору руху – додатковий опір – пов'язана з поздовжнім профілем і планом залізничної колії. Реальний шлях відрізняється від умовного, горизонтального і прямолінійного, якому відповідає основний опір руху, наявністю на конкретних ділянках ухилів (підйомів та спусків) різної крутизни та криволінійних ділянок, які характеризуються радіусом кривизни. Сили додаткового опору руху для поїздів на крутих підйомах істотно перевищують величину основного опору. Тому крутизна (ухил) так званого розрахункового підйому служить головним параметром для встановлення можливої ваги складу поїзда.

Гальмівні сили – штучні сили, керовані машиністом та спрямовані в бік, протилежний руху поїзда. Вони служать для забезпечення керованості руху та його безпеки. Величина гальмівних сил залежить від типів створюють їх поїзних гальмівних систем. Для найбільш поширених гальмівних систем фрикційного типу, що створюють гальмівну силу за рахунок тертя ковзання між колесом (або спеціальним диском на осі колісної пари) і гальмівними колодками, величина гальмівної сили залежить від твору сили натискання на колодку, що притискує її до обертового колеса (диску), на коефіцієнт тертя між ними, що залежить від матеріалів тертьових поверхонь і швидкості їх відносного переміщення. Його величина зменшується при збільшенні швидкості поступального руху поїзда.

Теорія локомотивної тяги розглядає рух поїзда, який є системою матеріальних тіл (локомотив та склад вагонів), як рух матеріальної точки, в якій

					<i>0032.160171.000.03MP.ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		10

зосереджена уся маса поїзда. Це дозволяє приймати в якості рівняння поступального руху поїзда перетворену форму другого закону Ньютона: прискорення поступального руху поїзда прямо пропорційно величині рівнодіючої сил, діючих на поїзд в напрямку його руху, та обернено пропорційно його масі.

У тягових розрахунках використовують сукупність методів для розрахунку сил, діючих на поїзд, способів розв'язання рівняння руху поїзда в конкретних умовах і визначення узагальнених, прийнятих за розрахункові, нормативних фактичних даних про характеристики різних типів рухомого складу.

Основною проблемою проведення вимірювань при випробуваннях локомотивів в русі є необхідність підтримання сталого руху поїзда, тобто збереження незмінними чинних на локомотив і склад вагонів сил, що важко забезпечити на реальних лініях. Тому для проведення випробувань локомотивів використовувалися Каткові станції, які розвивали запропоновану Бородіним ідею стаціонарних випробувань і дозволяли імітувати навантаження на привідні колеса при відносній нерухомості самого локомотива. Можливості проведення і масштаби випробувань рухомого складу значно розширилися з будівництвом у дослідного кільця. На замкнутому горизонтальному кільцевому шляху забезпечується незмінність сил опору руху локомотива або поїзда, що дає можливість протягом будь-яких необхідних проміжків часу підтримувати постійними режими роботи локомотива, відповідні реальним умовам експлуатації. Експериментальні полігони використовуються для випробування рухомого складу в ряді країн.

## 1.2 Аналіз методик розв'язання рівняння руху поїзда

Рівняння руху поїзда є основним законом, який передбачає визначення фазових координат у кожній точці шляху.

У тягових розрахунках застосовують такі методи розв'язання диференціального рівняння руху поїзда:

- аналітичний;

					0032.160171.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

- графічний;
- числовий;
- машинний.

Спільною для всіх цих методів теоретичною основою є розв’язання рівняння руху у формі задачі Коші. Для цього використовують певні теоретичні підходи, відомі у прикладній математиці, механіці та технічній кібернетиці. До них належать:

- правила лінеаризації нелінійних функцій;
- принцип малих відхилень змінних стану об’єкта;
- обчислення поточних координат рухомого об’єкта методом спостережності [1].

Графічний та метод сталих швидкостей використовується для розрахунків, які не потребують великої точності та не передбачають визначення енергоефективних режимів ведення поїздів.

Для аналітичного методу характерна велика кількість розрахунків, але він має вищу точність. Якщо розглядати його більш широко, то можна виділити такі методи розв’язання рівняння руху поїзда з визначенням енергоефективних режимів:

- варіаційне числення;
- принцип максимуму;
- нелінійне програмування;
- динамічне програмування;
- векторна оптимізація.

Варіаційне числення є одним з найбільш важливих методів для розрахунків на основі класичного математичного аналізу. Це розділ функціонального аналізу, у якому вивчаються варіації функціоналів.

Принцип максимуму, на відміну від класичного варіаційного числення, дозволяє розв’язувати задачі керування, у яких на керуючі параметри накладені обмеження, хоча зазвичай заздалегідь обумовлюється ряд властивостей розв’язку.

Завдяки цьому принцип максимуму є основним математичним прийомом, який використовується для розрахунку оптимального режиму керування в багатьох важливих завданнях техніки.

Нелінійне програмування – розділ математичного програмування, який вивчає методи розв’язання екстремальних задач з нелінійною цільовою функцією або областю допустимих розв’язків, що визначена нелінійними обмеженнями. Задача нелінійного програмування – це задача вибору таких невід’ємних значень деяких змінних, підпорядкованих системі обмежень у формі нерівностей, за яких досягається максимум або мінімум цієї функції.

Метод динамічного програмування – один з найбільш потужних і широко відомих математичних методів сучасної теорії керування. Він передбачає розв’язання задач шляхом складання послідовності з підзадач таким чином: перший елемент послідовності має тривіальний розв’язок; останній елемент цієї послідовності – це вихідна задача; кожна задача цієї послідовності може бути розв’язана з використанням розв’язків підзадач з меншими порядком.

Векторна (багатокритеріальна) задача математичного програмування лежить в основі математичної моделі, яка описує будь-який технічний об’єкт. Завдання багатокритеріальної оптимізації полягає в пошуку вектора цільових змінних, що задовольняє накладені обмеження, та оптимізуючої векторної функції, елементи якої відповідають цільовим функціям. Ці функції утворюють математичний опис критерію задовільності та, як правило, взаємно конфліктують. У задачах векторної оптимізації принцип оптимальності визначає властивості оптимального розв’язку й дає відповідь на головне питання – у якому сенсі оптимальний розв’язок перевершує всі інші допустимі розв’язки й дає правило пошуку цього оптимального розв’язку.

Завдання оптимізації режиму руху поїзда варіаційним методом вирішується таким чином [1]: необхідно визначити функцію  $V(t)$ , при якій інтеграл отримує мінімальне значення

$$A = U \cdot \int_0^T I(t) dt, \quad (1.2)$$

де  $A$ ,  $U$ ,  $I$ ,  $t$  – відповідно робота, напруга, струм та час.

Функція  $A$  – це визначений інтеграл, що залежить від незалежної змінної  $t$ , функції  $V(t)$  та її похідної  $V' = \frac{dV}{dt}$ . Зв'язок між  $I(t)$  і  $V(t)$  визначається струмовою характеристикою рухомого складу. В окремому випадку за наявності обмежень по швидкості та прискоренню оптимальна траєкторія набуває вигляд трапеції.

У реальних умовах експлуатації тягові характеристики серійних локомотивів не дозволяють реалізовувати трапецеїдальну криву руху поїзда. Роботу тягового електродвигуна на притаманній йому характеристиці слід розглядати як нелінійне обмеження прискорення руху поїзда.

Недоліки варіаційного методу:

- неможливість аналітичного обліку обмежень при русі поїзда по природній характеристиці;
- значні труднощі при визначенні оптимального режиму руху на перегонах з переломами поздовжнього профілю;
- відсутність зв'язку між теоретичною оптимальною траєкторією і практично здійсненими режимами управління тяговими двигунами.

В основі методу динамічного програмування лежить принцип: оптимальна стратегія управління визначається станом системи в даний момент часу і не залежить від “передісторії” процесу [1]. Відповідно до цього принципу побудову оптимальної траєкторії починають з кінця процесу.

Завдання оптимізації зводиться до мінімізації цільової функції:

$$H(V, T, N) = \sum_{i=1}^m \Delta A_i(V_i, T_i, N_i) \rightarrow \min, \quad (1.3)$$

де  $V$ ,  $T$ ,  $N$  – відповідно швидкість, час, позиція управління;

					<i>0032.160171.000.03MP.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

$m$  – число кроків варіювання режимів на перегоні;

$\Delta A_i$  – витрата електроенергії на  $i$ -му кроці.

Динамічне програмування найбільш просто реалізується при розв'язанні рівняння методом кінцевих приростів.

Недоліки методу:

– кількість розглянутих варіантів зростає в геометричній прогресії в залежності від числа кроків і тому метод вимагає дуже великих витрат машинного часу і значного обсягу пам'яті, причому більшість проміжних варіантів далекі від оптимального;

– результати оптимізації представлені в чисельній формі, що не дає можливості встановлювати загальні закономірності оптимального управління;

– зменшення кроку інтегрування підвищує точність розрахунків, але одночасно приводить до збільшення кількості перемикачів в колі тягових двигунів.

Класичний метод динамічного програмування був вдосконалений з метою зменшення кількості розглянутих варіантів і скорочення обсягу пам'яті – метод “блукаючої трубки” [3], при якому в якості початкового наближення приймається траєкторія, отримана будь-яким іншим способом, у тому числі і дослідним. Оптимальна траєкторія вибирається методом динамічного програмування в смузї, розташованій по обидві сторони від початкової траєкторії.

Існує метод локальних варіацій [4, 5], що передбачає послідовну місцеву зміну траєкторії по відношенню до прийнятої за перше наближення. Зміна швидкості передбачається по експоненціальній залежності.

Для вирішення завдання оптимізації режимів руху поїзда запропонований принцип максимуму [6]. Завдання оптимізації режиму руху поїзда на основі принципу максимуму вирішується таким чином.

Основна система диференціальних рівнянь:

					0032.160171.000.03МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

$$\left. \begin{aligned} \frac{dA}{dt} &= \frac{F(V, u)V}{\eta} \\ \frac{ds}{dt} &= V \\ \frac{dV}{dt} &= \frac{F(V, u) - W(s, V)}{m} \end{aligned} \right\}, \quad (1.4)$$

де  $u$  – функція управління силою тяги  $F = uF_{max}$  при  $0 < u < 1$  та гальмівною силою  $B = uB_{max}$  при  $0 > u > -1$ ;

$\eta$  – ККД локомотива;

$m$  – маса поїзда;

$W$  – сила опору руху поїзда.

Недоліком методів оптимізації, заснованих на застосуванні принципу максимуму, є необхідність інтегрувати не тільки основну, але і спряжену систему диференціальних рівнянь, а також визначати початкові умови для спряженої системи.

Таким чином, незважаючи на значний досвід, накопичений в аналітичному рішенні завдання побудови оптимальної кривої руху поїзда, у даний момент не існує методики розрахунку, що дозволяє поєднувати високу швидкодію з адекватністю моделі поїзда та умовами його роботи на лінії.

Однією з проблем визначення оптимального режиму ведення поїзда є те, що параметри, які визначають цей режим, є випадковими величинами. До них відносяться:

- напруга контактної мережі;
- вага поїзда;
- опір руху;
- відхилення фактичних характеристик двигунів від номінальних;
- запізнення поїзда, викликані різними причинами.

Довжина перегону теж може розглядатися як випадкова величина. У зв'язку

з цим потрібен статистичний підхід до вирішення задачі оптимізації.

На практиці зазвичай в якості номінального режиму приймається середина діапазону допустимих значень випадкової величини. Однак при такому підході статистична оптимізація буде забезпечена тільки при дотриманні двох умов:

- 1) закони розподілу всіх випадкових величин симетричні;
- 2) функція ефективності, що визначає витрати на виробництво одиниці продукції лінійно залежить від випадкових величин, що впливають на неї.

Якщо не дотримується хоча б одна з цих умов, то слід використовувати метод оптимуму номіналу [7]. Метод оптимуму номіналу дозволяє для будь-якого відомого закону розподілу відхилень і заданого розподілу величин результату реалізації процесу визначити такий зсув номіналу від середини поля допуску, який забезпечить найбільше математичне сподівання величини результату (найбільшу ефективність процесу).

Математичне рішення цієї задачі зводиться до знаходження максимуму функції ефективності процесу:

$$\varphi(\bar{\mu}_1, \dots, \bar{\mu}_k) = \int \dots \int \underbrace{b(\bar{x}) \cdot f(\bar{x}, \bar{\mu}_1, \dots, \bar{\mu}_k)}_R d\bar{x}, \quad (1.5)$$

де  $\bar{\mu}_1, \dots, \bar{\mu}_k$  – значення 1-го,  $\dots$ ,  $k$ -го моментів розподілу вхідних параметрів;

$f(\bar{x}, \bar{\mu}_1, \dots, \bar{\mu}_k)$  – щільність ймовірності значень вхідних параметрів  $\bar{x}$ ;

$b(\bar{x})$  – величина результату реалізації процесу;

$R$  – область допустимих значень вхідних параметрів.

Стосовно вибору режиму руху поїзда істотну несиметрію має закон розподілу довжин перегонів. Оцінка ефективності застосування оптимального режиму ведення поїзда на всій ділянці експлуатації не збігається з оцінкою, отриманою для перегону середньої довжини. Метод оптимуму номіналу дозволяє визначити розрахункову довжину перегону, для якого питома витрата

					0032.160171.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

електроенергії збігається з питомою витратою електроенергії для всієї ділянки експлуатації.

### 1.3 Аналіз режимів руху поїздів

Режим руху поїзда по конкретному перегону обирається відповідно до заданого часу ходу і особливостей перегону. Різноманітність режимів руху поїзда в експлуатації визначається багатьма факторами [8]. Це профіль колії, довжина перегону, режим розгону поїзда, показання колійних світлофорів, наявність обмежень швидкості та інше. Багато факторів носять змінний характер. Так, на ділянках неоднакові відстані між пунктами зупинок, обмеження швидкості на перегонах і станціях, коефіцієнт зчеплення коліс з рейками, що реалізується, населеність вагонів, кліматичні умови, параметри обладнання поїзда, його регулювання, якість роботи і так далі.

У загальному випадку режим руху поїзда по перегону можна розбити на наступні фази (рис. 1.1):

- пуск;
- розгін на автоматичній характеристиці;
- рух зі сталою швидкістю;
- вибіг;
- гальмування.

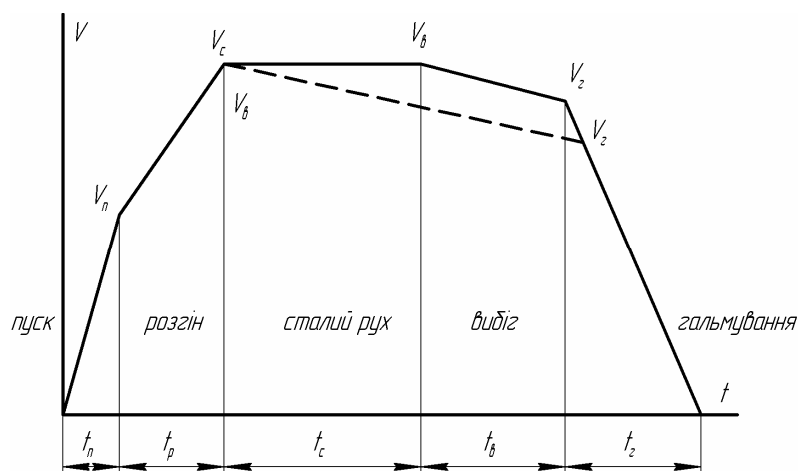


Рисунок 1.1 – Фази та режиму руху поїзда



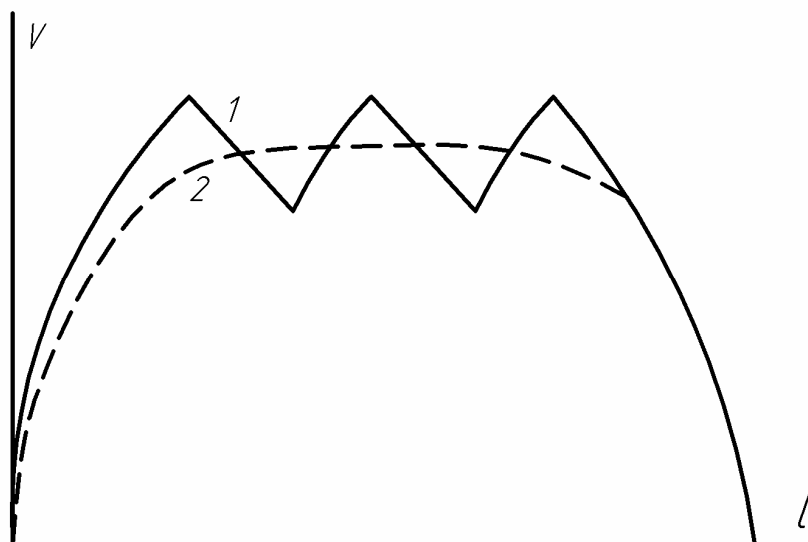


Рисунок 1.3 – Удосконалені енергозберігаючі режими ведення для підвищених швидкостей руху

можна поділити на дві групи: перегони, на яких можливе виконання заданого часу ходу при одноразовому включенні тягових двигунів (за одне підключення) і перегони, на яких потрібно багаторазове включення тягових двигунів (два і більше підключень).

Режим руху з чергуванням тяги і вибігу може бути характерний для перегонів, які мають обмеження швидкості як по всій довжині, так і на окремих ділянках. При наявності обмеження швидкості на перегоні в режимі руху можлива поява фази регульовального гальмування перед обмеженням. Наявність або відсутність цієї фази залежить від величини обмеження, місця його розташування на перегоні і часу ходу по перегону.

*Висновки.* Відомі класичні методи оптимізації стосовно до завдання визначення режимів ведення поїзда з врахуванням всіх умов експлуатації виявляються досить трудомісткими і незручними для масового використання.

Оптимальність режиму руху поїзда передбачає: рух за мінімальний час, мінімальне значення енергетичних витрат в інтервалі часу, мінімальне значення експлуатаційних витрат в інтервалі часу в той час як раціональність – максимальне використання інерції руху холостого ходу, мінімальне використання гальмівної сили та частоти зміни режимів руху, забезпечення режиму тяги

					0032.160171.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

мінімальною тяговою силою.

Економічність режимів руху поїзда слід оцінювати по відношенню до трапецеїдальної кривої руху, яка визначає фізично можливий мінімум витрати енергоресурсів. Трапецеїдальний режим руху поїзда є оптимальним з точки зору питомих витрат ресурсів лише для невеликих швидкостей, що зумовлює необхідність використання методів ведення із чергуванням фаз тяги та вибігу або з використанням характеристик зниженої потужності.

Питома витрата енергоресурсів на перегоні – це випадкова величина, що залежить від багатьох факторів (технічної швидкості, довжини перегону і т.д.).

					<i>0032.160171.000.03MP.ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		21

## 2 УДОСКОНАЛЕННЯ РЕЖИМІВ ВЕДЕННЯ ПОЇЗДІВ

### 2.1 Обґрунтування переваг систем раціонального ведення поїздів

Системи раціонального ведення поїздів призначені для автоматизації управління рухом поїздів, включаючи зрушення та розгін, вибір режиму ведення поїзда на перегонах, пригальмовування при виконанні обмежень швидкості, збирання та обробку інформації про рух поїзда.

Системи автоведення поїздів (САВ) дозволяють одержати наступний техніко-економічний ефект:

- підвищити точність виконання графіка руху поїздів, а також використання пропускнуої спроможності ліній та ділянок;
- знизить витрату електроенергії та палива на тягу поїздів;
- збільшити продуктивність праці локомотивних бригад;
- полегшити роботу машиніста;
- підвищити оперативність збирання та обсяг інформації про рух поїздів;
- автоматизувати процес документування та звітування про показники роботи.

Точність виконання графіка руху при ручному управлінні низька, оскільки машиніст володіє інформацією лише про розклад, де вказаний час проходження поїзда по станціях. Отже, по перегону машиністи ведуть поїзди довільно, орієнтуючись тільки на сигнали автоблокування, обмеження швидкості та час проходження станцій. При цьому можливий збій графіка руху поїздів.

Важливим параметром ефективності систем автоведення поїздів є економія енергоресурсів. Витрата енергоресурсів при використуванні САВ знижується внаслідок застосування:

- оптимальних програм руху поїздів;
- скорочення відхилень від оптимальних часів ходу по перегонах;
- зменшення числа гальмувань по сигналах світлофорів, що вимагають зниження швидкості.

					0032.160171.000.03МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

## 2.2 Вибір методу інтегрування рівняння руху поїзда

Якщо в числі сил, що визначають рух системи, є хоча б одна сила, за що залежить від швидкості, то розрахувати рух за допомогою загальних теорем класичної механіки не можна тому, що такі сили проявляються в процесі руху і, впливаючи на кінематичні характеристики руху, самі нелінійно залежать від них. Такі завдання можна вирішити тільки методом інтеграції диференціального рівняння руху.

Всі основні сили, що визначають рух поїзду, –  $F_k$ ,  $B_z$ ,  $W_k$  поставлені в залежність від швидкості. Крім того, на поїзд діють додаткові сили опору від ухилів і кривизни шляху, які також впливають на швидкість руху поїзду, а ступінь їх впливу залежить від поєднання елементів профілю шляху і їх протяжності.

Отже для розрахунку руху потягу необхідно прийняти метод інтегрування диференціального рівняння руху

$$\frac{dv}{dt} = 12,24 \cdot (f_k - w_k - b_z). \quad (2.1)$$

Задача полягає в тому, щоб знайти рішення цього рівняння на протяжності всієї тягової ділянки. При цьому зазвичай задані маса складу, серія локомотива, профіль шляху, діаграми питомих рівнодіючих сил поїзду.

Для зручності виведення проведемо на прикладі режиму тяги, а прискорюючу силу позначимо

$$f_k - w_k = f_y \quad (2.2)$$

і перетворимо рівняння (2.1) так, щоб знайти закон руху

$$v(s) : \frac{dv}{dt} \cdot \frac{ds}{ds} = \xi f_y, \quad (2.3)$$

але так як

					<i>0032.160171.000.03MP.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

$$\frac{ds}{dt} = v,$$

то

$$ds = \frac{v dv}{\zeta f_y}. \quad (2.4)$$

Рівняння (2.4) вирішується інтегруванням:

$$\int ds = \int \frac{v dv}{\zeta f_y}. \quad (2.5)$$

Інтегруванням рівняння (2.1) визначають пройдений шлях, час та швидкість руху поїзда, чисельні значення яких використовують для практичних цілей - розробки плану формування і складання графіка руху потягів на мережі доріг, що грають першорядну роль в плануванні, організації і технології перевізного процесу залізничного транспорту. Для інтеграції цього рівняння необхідно знати фактори, визначальний стан і поведінку потягу в умовах експлуатації. З цією метою необхідно перш за все вивчити залежності сил, що визначають рух -  $F_k$ ,  $B_z$ ,  $W_k$ .

У даному випадку представлений невизначений інтеграл, числення якого дає незліченна безліч рішень. Щоб знайти приватне рішення, необхідно задати гак звані початкові умови і вести обчислення у формі завдання Коші.

До задачі Коші приводять розрахунки процесів, які підпорядковані певним закономірностям і задовольняють певним початковим умовам, що характеризують стан об'єкту на початку процесу. Законом руху поїзду є функція  $v(s)$ , а стан поїзду як механічної системи в кожен момент часу визначається фазовими координатами  $(v_i, s_i)$ .

Для звичайного диференціального рівняння першого порядку початкова умова полягає в тому, що функція  $v(s)$  повинна прийняти наперед задані значення  $v=v_0$  і  $s=s_0$ . Отже, для вирішення рівняння (2.4) необхідно знати фазові

					0032.160171.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

координати поїзда у момент початку руху  $v_0, s_0$ . Геометрично задача зводиться до знаходження інтегральної кривої  $v(s)$ , що проходить через точку  $(v_0, s_0)$ . Швидкість  $v_0 = 0$ , координати поїзда на ділянці  $s_0$  і прискорююча сила  $f_{y0}$  на початку руху відомі. Проте рішення невизначеного інтеграла (2.4) можна знайти тільки в тому випадку, якщо підінтегральна функція лінійна або виражена через елементарні функції, що дозволяють узяти від них невизначений інтеграл.

Нелінійними називають системи, властивості яких залежать від їх стану. Поїзд є нелінійною системою. Наприклад, при змінній швидкості руху поїзда виникають нелінійні зв'язки між рівнодіючою силою і прискоренням, що передається поїзду.

Нелінійності систем ускладнюють розрахунки руху. Для нелінійних рівнянь немає загальної теорії рішень, і у кожному окремому випадку використовуються ті або інші прийоми наближених рішень. В цьому зв'язку розділяють системи на лінеаризуючі і нелінеаризуючі (істотно нелінійні).

Лінеаризуючими називають системи, у яких права частина рівняння (2.4) допускає лінеаризацію і завдяки цьому піддається диференціюванню.

Характеристики тяги, гальмування і опору руху можуть бути лінеаризовані, якщо використовувати принцип малих відхилень. Його суть полягає в тому, що процес руху розглядається в межах послідовного ряду малих інтервалів швидкостей і відхилення змінних стану системи від сталих значень залишається весь час достатньо малим. Такий принцип дозволяє приблизно вважати рівнодіючу сил поїзда постійною в межах кожного малого інтервалу швидкості.

Лінеаризацію змінних  $F_k(v), W_k(v), B_2(v)$  можна виконати графічним шляхом, або розкладанням функції в ряд Тейлора. Графічний метод лінеаризації називають кусочно-лінійними апроксимацією (наближенням) нелінійних характеристик. При виконанні лінеаризації необхідно дотримуватись встановлених правил.

Лінеаризація допустима, якщо характеристики  $F_k(v), W_k(v), B_2(v)$  є «гладкими» (не мають розривних неоднозначностей або кривих, що різко

					0032.160171.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

згинаються).

Проте якщо подивитися на тягові характеристики, то легко виявити переломи кривих в точках обмежень сили тяги по зчепленню і струму, неоднозначна при одних і тих же швидкостях сил тяга по дизелю, зчепленню і тяговій передачі. Розриви кривих відбуваються при зміні режимів роботи тепловоза. Лінеаризація допустима при дотриманні достатньо малих інтервалів функції. Правилами тягових розрахунків допускаються інтервали швидкості в межах не більш 5-10 км/год.

Але лінеаризацію можна проводити тільки спрямлених кривих. З курсу математики відомо, що якщо координати точок кривої є результатом рішення функції, що безперервно диференціюється, то крива називається спрямлюючою. Правилами тягових розрахунків встановлені спрямленими кривими характеристики, в межах однорідних функцій. При перехідних режимах тепловозів сила тяги має різні значення при одній і тій же швидкості. Для спрощення розрахунків руху поїзда ПТР допускають враховувати середню арифметичну цих сил.

### 2.3 Метод спостереження при різв'язанні рівняння руху поїзда

Для розрахунку руху поїзда на всій тяговій ділянці треба знати початкові умови на кожному кроці. У момент зрушення поїзда з місця початкові умови ( $v_0$ ,  $s_0$ ,  $f_{y0}$ ) відомі, і тому завдання легко вирішується на першому кроці інтеграції. Але на будь-якому іншому окремо взятому інтервалі шляху початкові умови невідомі тому, що фазові координати потягу ( $v_i$ ,  $s_i$ ) залежать не тільки від сил, що діють в кожен момент часу, але і від швидкості, яку він розвинув на попередніх ділянках шляху.

Щоб знайти загальне рішення, в тягових розрахунках застосовують метод спостереження, суть якого полягає в обчисленні поточних координат стану рухомого об'єкту по доступній вимірюванню (спостереженню) функції від цих координат. Стосовно механічному руху поїзда це означає, що параметри його

					0032.160171.000.03МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

стану  $(v_i, s_i)$  і рівнодіюча сила (у режимі тяги  $f_y$ ) повинні визначатися в процесі рішення диференціального рівняння. При цьому у якості початкових умов  $(v_i, s_i)$  на деякому  $i$ -му кроці інтегрування використовуються параметри стану  $(v_{i-1}, s_{i-1})$  у кінці попереднього кроку.

## 2.4 Вибір критерію оптимальності руху поїзда та його обмежень

На стан поїзда накладені обмеження по зчепленню, по потужності і надійності локомотива, по безпеці руху поїздів. При виборі кроку інтеграції необхідно забезпечувати такі фазові координати стану поїзда в кінці кроку, які не виходили б за межі нормативних гранично допустимих параметрів і забезпечували оптимальне рішення задачі перевезень, що приводить до необхідності дотримання прийнятого у тязі поїздів принципу максимуму, що грає оптимальності тяги. Крім того, опір руху, а значить, і швидкість змінюється на переломах елементів профілю шляху, і якщо при інтеграції взяти інтервал, що охоплює неспрямлюючі елементи профілю різної крутизни, то це внесе похибку при визначенні рівнодіючої сили. Принцип максимуму і обмеження поїзда грає важливу роль в роботі всієї системи транспорту. Недотримання або неправильне застосування принципу мінімуму нерідко є причиною того, що неповного використання потенційних можливостей тяги або виникнення несправностей локомотивів, більших витрат енергоресурсів, збою руху поїздів. Встановленні два фундаментальні підходу до задачі оптимального керування:

- ефективність керування процесом повинна бути виражена критерієм оптимальності, значення якого дозволяє знайти переважне рішення;
- досягненні значення критерію оптимальності повинні бути обмеженими.

Розглянемо спочатку задачу оптимізації. Критерієм оптимальності називають показник, числове значення якого визначає гранично досягну міру ефективності процесу. У якості критеріїв можуть бути прийняті: найвища продуктивність, найбільший к.к.д, найменша собівартість та ін. Одночасний вираз ефективності декількома критеріями оптимальності приводить до завдання,

					0032.160171.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

алгоритмічно нерозв'язного навіть на ЕОМ, тому повинен бути вибраний головний критерій.

При виборі головного критерію оптимальності необхідно виходити згідно принципам системного підходу з призначення і мети функціонування всієї системи. Формальним виразом меті повинна бути цільова функція системи у формі критерію оптимальності. Цільовою функцією транспорту є повне задоволення народного господарства в перевезеннях, тому оптимальним рухом поїздів слід вважати таке, при якому досягається найбільша провізна та пропускна спроможність залізниць. Цього можна досягти, якщо *водити поїзди найбільшої маси, з найбільшою швидкістю і з найбільшим використанням кінетичної енергії поїздів*. Такий принцип розрахунку руху потягу *офіційно затверджений ПТР* і отримав назву *принципу максимуму*. Реалізація його не тільки підвищує ефективність тяги і транспорту але є одним із спрощених допущень при побудові і дослідженні моделі поїзда.

Інші показники ефективності (приведена собівартість витрат енергоресурсів і т.д.) можуть не співпадати із загальним критерієм оптимальності. У такому випадку пріоритет віддається головному критерію, а останні знаходяться в межах своїх параметричних характеристик і в рівнянні на загальну мету. Такі критерії оптимальності називають локальними критеріями. Залежно від мети дослідження локальні критерії можуть бути прийняті як обмежувальні умови.

Розглянемо завдання обмежень стану поїзда. Виходитимемо з того, що поїзд рухається в умовах змінних зовнішніх дії, обумовлених перевалистим профілем шляху, путніми сигналами, технологією і організацією перевізного процесу та ін. Відповідно, що він, як і будь-яка керована система, повинен володіти властивістю переходити з одного стану в інший, щоб адаптуватися до змінних зовнішніх дій, але не повинен приймати будь-які стани. Будь-який процес організованих систем розвивається в межах певних обмежень. Сенс обмежень полягає в тому, що значення того або іншого параметра, що визначає стан поїзда, не може виходити за межу можливого або допустимого.

					0032.160171.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

Такими параметрами можуть бути як керуючі дії (сила тяги, гальмівна сила, миттєві значення струму), так і фазові координати поїзда (швидкість, положення на перегоні).

Межі допустимого обумовлені тим, що стан поїзда в принципі може вийти за межі обмежень, але не повинний виходити за умовами безпеки, стійкості, надійності, технології перевізного процесу. Такі обмеження встановлюються нормативами заводів-виробників локомотивів і вагонів, графіком руху поїздів і правилами технічної експлуатації.

Межі можливого обумовлені природними причинами, коли параметри стану поїзда не в змозі приймати значення, що виходять за певні межі. Наприклад, тепловоз має обмеження сили тяги по дизелю, тяговій передачі і зчепленню. У номінальному режимі ці сили зв'язані, а при інших режимах відбувається розузгодження унаслідок того, що закономірності їх зміни мають різну фізичну природу. Очевидно, тільки найменша цих сил може бути реалізована, і тому вона стає обмеженням.

Обмеження, прийняті в тязі поїздів, можна класифікувати по наступних ознаках:

– **обмеження по ресурсу:** потужність генератора енергії, наприклад дизеля; потужність передачі, обумовленої зовнішньою характеристикою тягового генератора тепловоза; зчеплення рушійних коліс з рейками; кількість гальмівних осей поїзда і сила зчеплення гальмівних коліс з рейками, обумовлена навантаженням колісної пари на рейки;

– **обмеження по безпеці руху і надійності роботи:** гранично допустима швидкість руху, обумовлена конструкцією локомотива, вагонів, шляху; гранично допустима сила тяги при кратній тязі і при зрушенні поїзда з місця, обумовлена міцністю автозчеплення і хребтових балок вагонів; найбільша сила штовхання або електричного гальмування, обумовлена стійкістю вагонів від вижимання на кривих ділянках шляху; найбільші значення струму двигунів, допустимі по міцності, найбільша допустима температура нагріву

					0032.160171.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

обмоток тягових генераторів або двигунів відповідно до класу ізоляції; знімання струму на колекторі тягових двигунів, обумовлене потенційними комутаційними умовами;

– *обмеження за умовами експлуатації і організації руху:* обмеження норм маси поїздів по довжині приймально-відправних колій станцій або по уніфікації норм маршрутних поїздів; зниження швидкості при згущуванні потоку поїздів або за станом шляху, за метеорологічними умовами та ін.

Виникає завдання дослідження умов ефективності тяги за наявності багатьох обмежень. Принцип максимуму є необхідною умовою оптимальності. Його можна інтерпретувати як метод відбору дій, що управляють, які можуть бути оптимальними. Керування на межі того або іншого обмеження є екстремальним, але не всяке екстремальне керування може бути оптимальним в сенсі реалізації функції мети. Отже, вибір оптимального керування повинен полягати у виборі якнайкращого з числа екстремальних.

Наприклад, при веденні поїзда тепловоз може працювати в режимах обмежень або по дизелю, або але зчепленню, або по перегріву обмоток і ін. Управління на межі будь-якого обмеження є екстремальним. Оптимальним же буде таке з числа екстремальних, при якому досягається найбільша провізна або пропускна здатність ділянки.

В межах обмежень, встановлених нормами, очевидно, є деяка свобода вибору дій, що управляють, а принцип максимуму є лише необхідною умовою оптимальності.

Остаточо принцип максимуму можна сформулювати так: зі всіх, сумісних з обмеженнями, способів зміни дій, що управляють, і фазових координат поїзда повинен бути вибраний такий, який при рішенні рівняння руху однозначно задовольняє критерію оптимальності для досягнення найбільшої провізної і пропускної здатності тягової ділянки.

Якщо врахувати, що в цілях спрощених допущень величину сил, що управляють, визначають по статичних характеристиках, а умови руху є

					0032.160171.000.03МР.ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

перемінними, то фактичне керування поїздом може відрізнятись від оптимального, отриманого на основі рішення рівняння руху. Суть прогресивної технології водіння поїздів в тому і полягає, що машиністи і диспетчери знаходять оптимальні рішення в умовах, що склалися. Якщо ж скористатися результатами натурних експериментів, отриманих за допомогою вагонів – лабораторій, то можна досягти ще вищої ефективності.

Рішення рівняння руху поїзда дозволяє передбачити його рух, що є центральним завданням теорії тяги поїздів, без рішення якої неможливе нормальне функціонування всієї системи залізниць. Але для цього будь-який метод рішення рівняння руху повинен бути доведений до чисельного рішення. Методика таких рішень показана далі на прикладах різних способів, прийнятих в практиці тягових розрахунків.

З урахуванням вищевказаного за критерій оптимальності обираємо *дотримання поздовжнього горизонтального прискорення в межах  $0,4 \text{ м/с}^2$ .*

## 2.5 Приведення рівняння руху поїзда до аналітичного вигляду

Для розрахунку руху потягу в режимі тяги, як це видно з його моделі (2.1), необхідно спочатку визначити рівнодіючу сил  $f_k - w_0$ , яку позначимо  $f_y$ . Допустимо, що її діаграма побудована (рис. 2.1). Для використання принципу малих відхилень проведемо кусочно-лінійну апроксимацію діаграми, керуючись правилами лінеаризації. З цією метою розіб'ємо вісь абсцис на інтервали швидкостей  $\Delta v_{01} = v_1 - v_0$ ,  $\Delta v_{12} = v_2 - v_1$  і т.д. Знайдемо середні швидкості в кожному інтервалі:

$$\Delta v_{12} = \frac{v_1 + v_2}{2} \quad (2.6)$$

і відповідно їм визначимо по діаграмі рівнодіючі сили  $f_{y01}$ ,  $f_{y12}$  і т. д. Приймаємо сили постійними в інтервалах і на цій основі отримаємо кусочно-

					<i>0032.160171.000.03MP.ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		31

лінійну залежність  $f_y(v)$  (штрихова лінія на рис.2.1). Результати апроксимації використовуємо для рішення диференціального рівняння руху.

Практичний інтерес уявляють залежності часу руху у функції швидкості  $t(v)$ , пройденого шляху у функції швидкості  $s(v)$ , пройденого шляху у функції часу  $s(t)$ .

**Інтегрування рівняння руху поїзда по часу і швидкості.** Візьмемо інтервал швидкості в початку руху поїзда  $\Delta v_{01}$  і в його межах знаходимо рівнодіючу сил  $f_{y01}$  (рис. 2.1). Проведемо перестановку змінних рівняння (2.1) і винесемо за знак інтеграла підінтегральну функцію  $(\zeta f_{y01})^{-1}$  на тій основі, що в межах інтервала швидкості  $\Delta v_{01}$  вона прийнята постійною.

$$\int_{t_0}^{t_1} dt = \frac{1}{\zeta f_{y01}} \int_{v_0}^{v_1} dv. \quad (2.7)$$

Виражаючи швидкість в км/год, а рівнодіючу силу в Н/т і інтегруючи рівняння руху, отримаємо вираз для визначення часу руху поїзда:

$$\Delta t_{01} = t_1 - t_0 = \frac{(v_1 - v_0)}{\zeta f_{y01}}. \quad (2.8)$$

Якщо  $\zeta = 12,24 \text{ км/год}^2$ , то час руху в год:

$$\Delta t_{01} = 0,0817 \cdot \frac{(v_1 - v_0)}{f_{y01}}. \quad (2.9)$$

За цими формулами можна визначити час, який потрібен для збільшення швидкості від  $v_0$  до  $v_n$ .

**Інтегрування рівняння руху поїзда по шляху и швидкості.** Для того щоб ввести шлях у рівняння руху, помножимо і розділимо на  $ds$  ліву частину рівняння:

					0032.160171.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

$$\frac{dv}{dt} \cdot \frac{ds}{ds} = \zeta f_y, \quad (2.10)$$

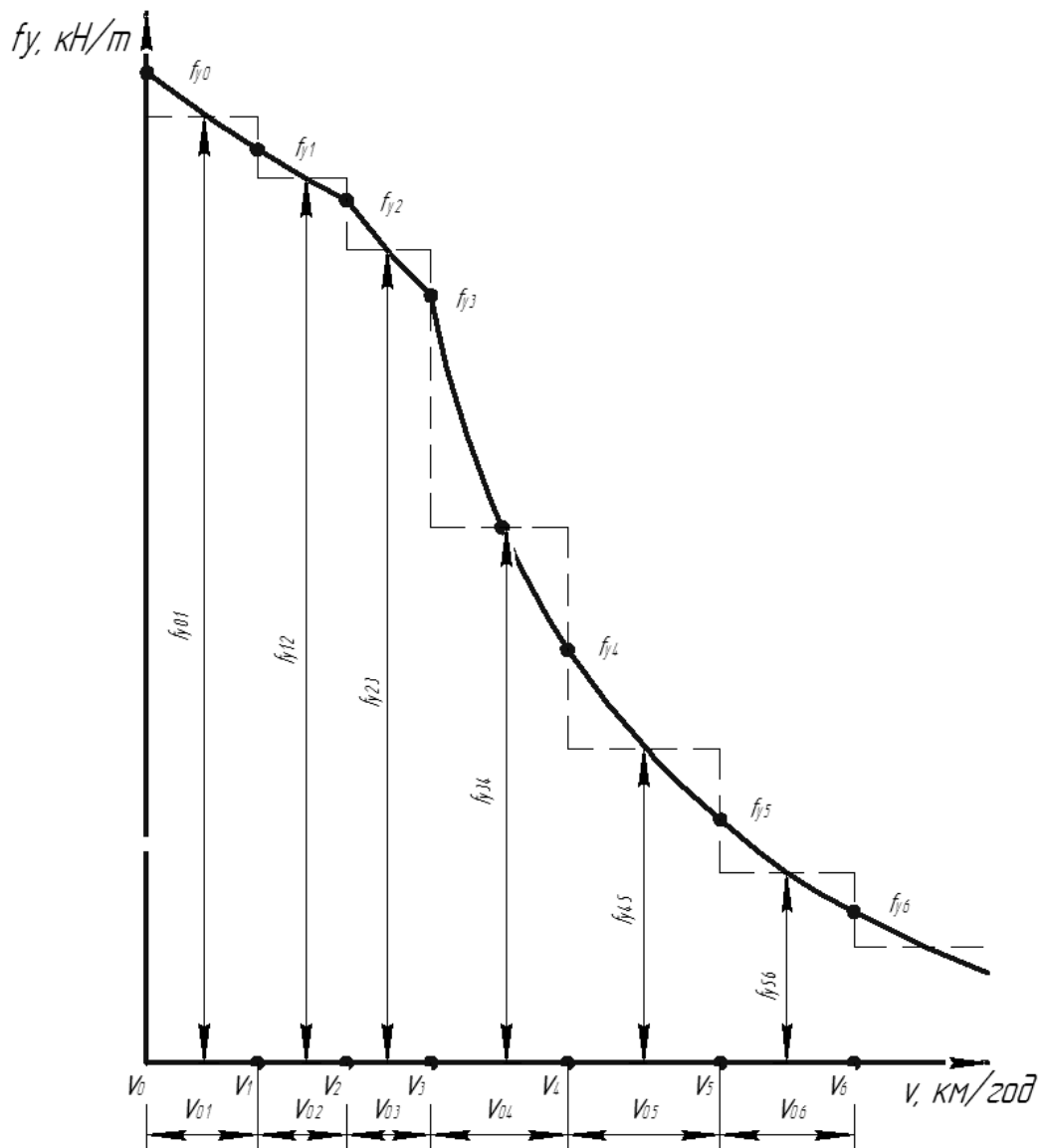


Рисунок 2.1 – Приклад кусочно-лінійної апроксимації рівнодіючих сил поїзда у режимі тяги

звідки

$$\frac{dv}{ds} \cdot \frac{ds}{dt} = v \cdot \frac{dv}{ds} = \zeta f_y. \quad (2.11)$$

Після перестановки змінних отримаємо  $ds = v dv / \zeta f_y$ . Знайдемо інтеграл швидкості на початку руху від  $v_0$  до  $v_1$ , визначимо середню швидкість

$$v_{01} = \frac{v_0 + v_1}{2}. \quad (2.12)$$

і на діаграмі рівнодіючих сил знайдемо їй відповідну силу  $f_{y01}$ .

Підставивши у рівняння (2.13) значення  $\zeta = 12,24 \text{ км/год}^2$ , отримаємо шлях, пройдений поїздом при зміні швидкості від  $v_0$  до  $v_1$  у метрах.

$$\Delta s_{01} = s_1 - s_0 = \frac{40,85 \cdot (v_1^2 - v_0^2)}{2 \cdot \zeta f_{y01}}. \quad (2.13)$$

Подібним чином визначимо пройдений шлях  $\Delta s_i$  для послідовних інтервалів швидкостей і додаванням знайдемо шлях  $s$ , пройдений поїздом при підвищенні швидкості від  $v_0$  до  $v_n$ :

$$s = \sum_{i=0}^{i=n} \Delta s_i, i = 1, 2, \dots, n, \quad (2.14)$$

де  $n$  – кількість інтервалів швидкостей.

**Інтегрування рівняння руху поїзда по шляху і часу.** З формули (2.9) знайдемо інтервал швидкості  $v_1 - v_0$  і, підставивши у рівняння (2.13) визначимо:

$$\Delta s_{01} = \frac{(v_1 + v_0) \cdot (t_1 - t_0)}{7,2}. \quad (2.15)$$

За цією формулі визначають шлях, пройдений поїздом, якщо задані час та зміна швидкості за цей час.

**Приведення формул аналітичного методу до вигляду, зручному для автоматизованих розрахунків.** Для зрівняно невеликого об'єму тягових розрахунків отримали широке застосування ПЕОМ. При цьому використовують формули, отримані у результаті аналітичного інтегрування рівняння руху, приведені до вигляду, зручного для використання.

При малих швидкостях руху (до 15-20 км/год) згідно ПТР незалежною

					0032.160171.000.03МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

змінною приймається швидкість. Тоді приріст шляху визначимо за формулою:

$$\Delta s = \frac{(v_1 + v_0) \cdot (v_1 - v_0)}{2\zeta f_y}. \quad (2.16)$$

Для розрахунків на ЕОМ приймаємо інтервал швидкості (крок інтегрування)  $\Delta v = 2$  км/год. Враховуючи, що  $v_1 - v_0 = \Delta v$ , а  $v_1 + v_0 = 2v_0 + \Delta v$

$$\Delta s = \frac{(2v_0 + \Delta v) \cdot \Delta v}{2\zeta f_y}. \quad (2.17)$$

Підставляючи в неї значення  $\zeta = 12,24$  км/год<sup>2</sup>, отримаємо розрахункову формулу для визначення приросту шляху:

$$\Delta s = 0,1634 \cdot \frac{(v_0 + 1)}{f_y}. \quad (2.18)$$

При швидкостях більше 15-25 км/год незалежної змінної приймається шлях, а в якості кроку інтегрування  $\Delta s = 0,05$  км і згідно рівнянню руху, вираженому у кінцевих прирощеннях,  $\Delta v = \zeta f_y \Delta t$ .

Але так як  $\Delta t = \Delta s / v$ , а  $\zeta = 12,24$  км/год<sup>2</sup>, формула прийме вигляд:

$$\Delta v = \frac{0,612 f_y}{v}. \quad (2.19)$$

Час у хвилинах при кроці інтегрування  $\Delta s = 0,05$  км у всьому діапазоні швидкостей можна розрахувати за формулою:

$$\Delta t = \frac{60 \cdot \Delta s}{v} = \frac{3}{v}. \quad (2.20)$$

## 2.6 Побудова діаграми питомих рівнодіючих сил

Для досягнення поставленої мети обираємо для розрахунків локомотив серії

					<i>0032.160171.000.03MP.ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		35

ТЭП70 (2 секції), як один з найбільш швидкісних тепловозів серед парку експлуатації Укрзалізниці.

Вихідні дані для розрахунку

Серія локомотива .....	2ТЭП70
Маса локомотива, т .....	270
Довжина локомотива, м .....	43,4
Загальна кількість осей, од.....	12
Розрахункова швидкість, км/год .....	48,3
Конструкційна швидкість, км/год .....	150
Сила тяги при зрушенні з місця, кН .....	577
Частка гальмівних осей, % .....	100
Колодки .....	композиційні
Маса вісних вагонів, т .....	64,5
Маса складу, т .....	645
Маса поїзда, т .....	915

Для побудови діаграми питомих рівнодіючих сил (рис. 2.2) попередньо складаємо таблицю для трьох режимів ведення поїзда по прямій горизонтальній дільниці:

а) для режиму тяги:

$$f_g - \omega_0 = f_1(V); \quad (2.21)$$

б) для режиму холостого ходу:

$$\omega_{0x} = f_2(V); \quad (2.22)$$

в) для режиму гальмування:

– при службовому регульовальному гальмуванні:

$$\omega_{0x} + 0,5b_2 = f_3(V); \quad (2.23)$$

– при екстреному гальмуванні:

$$\omega_{0x} + b_2 = f_4(V). \quad (2.24)$$

Таблиця заповнюється для швидкостей від нуля до конструкційної  $V_k$  через кожні 10 км/год – перший стовпчик. У другий стовпчик заносяться значення сили тяги локомотива  $F_d$  для вказаних в першому стовпчику швидкостей. Значення сили тяги визначаються за тяговою характеристикою локомотива [10]. Швидкості  $V = 0$  км/год (момент зрушення поїзда з місця) відповідає значення сили тяги  $F_{Дзруш}$ .

Основний питомий опір складу, Н/кН, (при слідуванні його по прямій горизонтальній безстиківій ділянці колії) при русі поїзда на холостому ході (без струму) розраховуємо за формулою:

$$\omega_x = 2,4 + 0,011 \cdot V + 0,00035 \cdot V^2, \quad (2.25)$$

де  $V$  – швидкість руху поїзда, км/год.

Основний питомий опір складу, Н/кН, (при слідуванні його по прямій горизонтальній безстиківій ділянці колії) при русі поїзда в режимі тяги розраховуємо за формулою:

$$\omega'_0 = 1,9 + 0,01 \cdot V + 0,0003 \cdot V^2. \quad (2.26)$$

Формули для розрахунку основних питомих опорів складу обрані згідно з даними, приведеними у ПТР [4].

Величини  $\omega'_0$ ,  $\omega_x$  визначаються вказаним шляхом для швидкостей, починаючи з 10 км/год і вище до конструкційної. Значення цих величин при  $V = 0$  км/год (у момент зрушення поїзда з місця) приймаються відповідно такими ж, як при  $V = 10$  км/год.

Питомі гальмівні сили поїзда, Н/кН, розраховуємо за формулою:

					0032.160171.000.03МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

$$b_2 = 1000 \cdot \varphi_{кр} \cdot \mathcal{G}_p, \quad (2.27)$$

де  $\varphi_{кр}$  – розрахунковий коефіцієнт тертя колодок об колесо;

$\mathcal{G}_p$  – розрахунковий гальмівний коефіцієнт складу.

При композиційних колодках коефіцієнт тертя колодок об колесо розраховуємо за формулою:

$$\varphi_{кр} = 0,36 \cdot \frac{V + 150}{2 \cdot V + 150}, \quad (2.28)$$

де  $V$  – швидкість руху поїзда, км/год.

Розрахунковий гальмівний коефіцієнт складу розраховуємо за формулою:

$$\mathcal{G}_p = \frac{\sigma \cdot k \cdot n}{Q \cdot g}, \quad (2.29)$$

де  $n$  – кількість осей складу, од;

$k$  – розрахункова сила натиснення гальмівних колодок, кН/вісь. При чавунних колодках приймаємо  $k = 98,1$  кН/вісь згідно з [4];

$\sigma$  – частка гальмівних осей в складі. В нашому випадку  $\sigma = 1$ ;

$Q$  – маса складу, т.

$$\mathcal{G}_p = \frac{1 \cdot 98,1 \cdot 40}{645 \cdot 9,81} = 0,62.$$

Питома сповільнююча сила, яка діє на поїзд в режимі гальмування, Н/кН:

– при службовому регульовальному гальмуванні –  $\omega_{0x} + 0,5 \cdot b_2$ ;

– при екстреному гальмуванні –  $\omega_{0x} + b_2$ ;

– при рекуперативному гальмуванні –  $\omega_{0x} + B_2^{рек}$ .

Значення  $b_2$ , і відповідно  $\omega_{0x} + 0,5 \cdot b_2$ ,  $\omega_{0x} + b_2$ ,  $\omega_{0x} + B_2^{рек}$  потрібно і при

					<i>0032.160171.000.03MP.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

швидкості  $V = 0$  км/год вираховувати за формулами (так само, як і для інших швидкостей).

Оскільки розрахунки проводимо в пакеті символічних обчислень, то результати розрахунків діаграми питомих сил наводимо на рис. 2.2.

## 2.7 Розв'язання гальмівної задачі

Гальмування проводиться зменшенням кінетичної енергії поїзда для його зупинки або регулювання швидкості шляхом створення зовнішньої сили, званою гальмівною силою потягу. Гальмівна сила потягу може створюватися фрикційними (механічне гальмування) або електричними системами (електричне гальмування).

Розрізняють наступні режими гальмування: екстрене, повне службове, зупинне, регулювальне.

Екстрене гальмування проводиться для зупинки потягу в надзвичайних випадках. Повне службове гальмування використовується для розрахунку відстані розстановки постійних сигналів. Гальмівна сила при цьому використовується на 80 %. Службове гальмування застосовується для зупинки потягу. Гальмівна сила при цьому використовується на 50 %. Регулювальне гальмування застосовується для підтримки швидкості руху потягу на заданому рівні.

Швидкість на початку гальмування і довжина гальмівного шляху є визначальними параметрами для розрахунку руху потягів в режимі гальмування і потреби в гальмівних засобах. Такі розрахунки називають вирішенням гальмівних задач.

При цьому доводиться мати справу з довжиною гальмівного шляху  $S_m$ , наявністю гальмівних засобів в потягу, визначуваних розрахунковим гальмівним коефіцієнтом  $\mathcal{G}_p$ , початковою  $V_n$  і кінцевою  $V_k$  швидкостями руху і ухилами  $i$ .

Математичний взаємозв'язок між цими параметрами визначається рівнянням руху потягу для випадку його руху при гальмах, що діють. Залежно від того, яку величину з п'яти визначають, гальмівні завдання підрозділяють на три типи.

					0032.160171.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

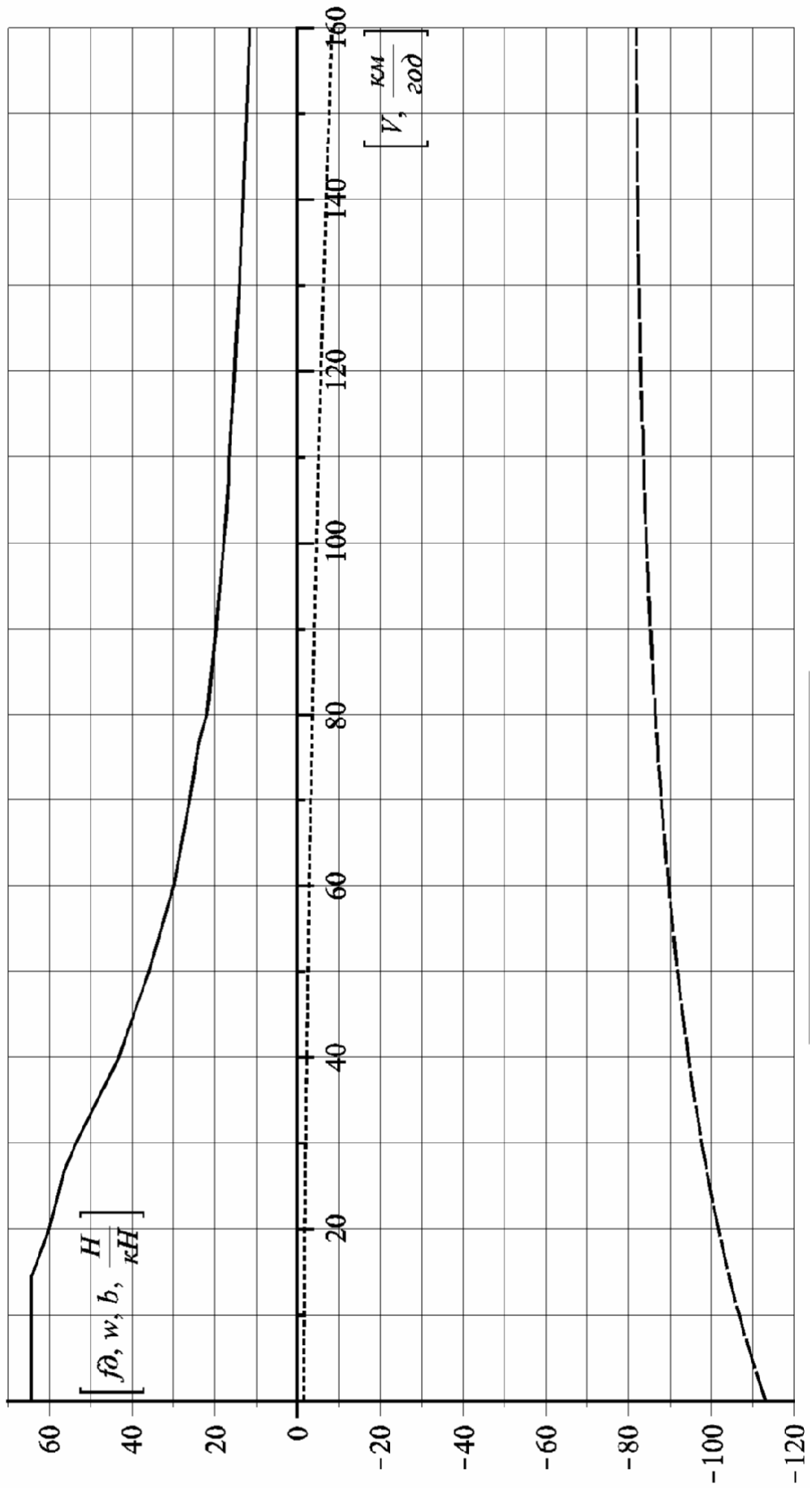


Рисунок 2.1 – Діаграма питомих рівнодіючих сил (локомотив 2ТЭП70, маса складу 645 т)

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

0032.160171.000.03MP.ПЗ

Арк.

40

Перший тип гальмівних завдань зводиться до визначення довжини гальмівного шляху по заданих значеннях  $V_H, V_K, \mathcal{G}_p, i$ . Кінцеву швидкість, як правило, приймають рівною нулю.

У другому типі розраховують допустимі швидкості руху  $V_H$  на різних ухилах  $i$ , виходячи з умови зупинки потягу в межах заданого гальмівного шляху при заданому значенні  $\mathcal{G}_p$ .

У третьому типі визначають, скільки гальмівних засобів потрібно мати в потягу (або який повинен бути  $\mathcal{G}_p$ ), щоб потяг, що рухається із заданою швидкістю  $V_H$ , можна було зупинити на заданому ухилі  $i$  в межах гальмівного шляху  $S_2$ .

Перед тим, як приступити до побудови кривих швидкості і часу ходу поїзда по дільниці, вирішуємо гальмівну задачу, яка полягає в визначенні максимальної допустимої швидкості руху поїзда по найбільш крутому спуску дільниці при заданих гальмівних засобах і прийнятому гальмівному шляху. Ця задача розв'язується графічним способом. Всі розрахунки і побудови виконуємо згідно з [4].

Повний (розрахунковий) гальмівний шлях, м:

$$S_2 = S_{II} + S_D, \quad (2.30)$$

де  $S_{II}$  – шлях підготовки гальма до дії, на протязі якого гальма поїзда умовно приймаються недіючими, м;

$S_D$  – дійсний гальмівний шлях, на протязі якого поїзд рухається з діючими в повну силу гальмами, м.

Рівняння (2.30) дозволяє знайти допустиму швидкість як величину, що відповідає точці перетину графічних залежностей підготовчого шляху  $S_{II}$  і дійсного гальмівного шляху  $S_D$  від швидкості руху поїзда в режимі гальмування.

Залежність підготовчого гальмівного шляху від швидкості:

$$S_{II} = 0,278 \cdot V_{\text{поч}} \cdot t_{II}, \quad (2.31)$$

де  $V_{\text{поч}}$  – швидкість на початку гальмування, км/год;

$t_{II}$  – час підготовки гальм до дії, с.

В нашому випадку згідно з [4]:

$$t_{II} = 2 - \frac{3 \cdot i_{\Gamma}}{b_{\Gamma}}, \quad (2.32)$$

де  $i_{\Gamma}$  – крутизна ухилу, для якого розв'язується гальмівна задача, %;

$b_{\Gamma}$  – питома гальмівна сила при початковій швидкості гальмування  $V_{\text{поч}}$ , Н/кН,

Для нашого випадку виконуємо побудову масиву гальмівних задач для різних значень ухилів (рис. 2.3). Це дає змогу встановити обмеження по швидкості для всієї ділянки. В автоматизованому варіанті розв'язання це має вигляд

```

while t ≤ nuch do Sd := 0 : Vn := 0 :
  if iut > -6 then Sdop := 1000 :
    else Sdop := 1200 : end if :
  while (Spodg + Sd) ≤ Sdop do
    Vk := Vn + dV : Vs :=  $\frac{Vn + Vk}{2}$  :
    Sd := Sd +  $\frac{500 \cdot (Vk^2 - Vn^2)}{\text{zeta} \cdot (\text{subs}(v = Vs, \text{wxbt}) + iuch_t)}$  :
    tp : Spodg := 0.278 · Vk · tp :
    Vn := Vk : od ;
  Vmaxt := Vk - 1 : t := t + 1 : od ;

```

Результатом рішення є аналітична та графічна залежність допустимих швидкостей від шляху (рис. 2.4).

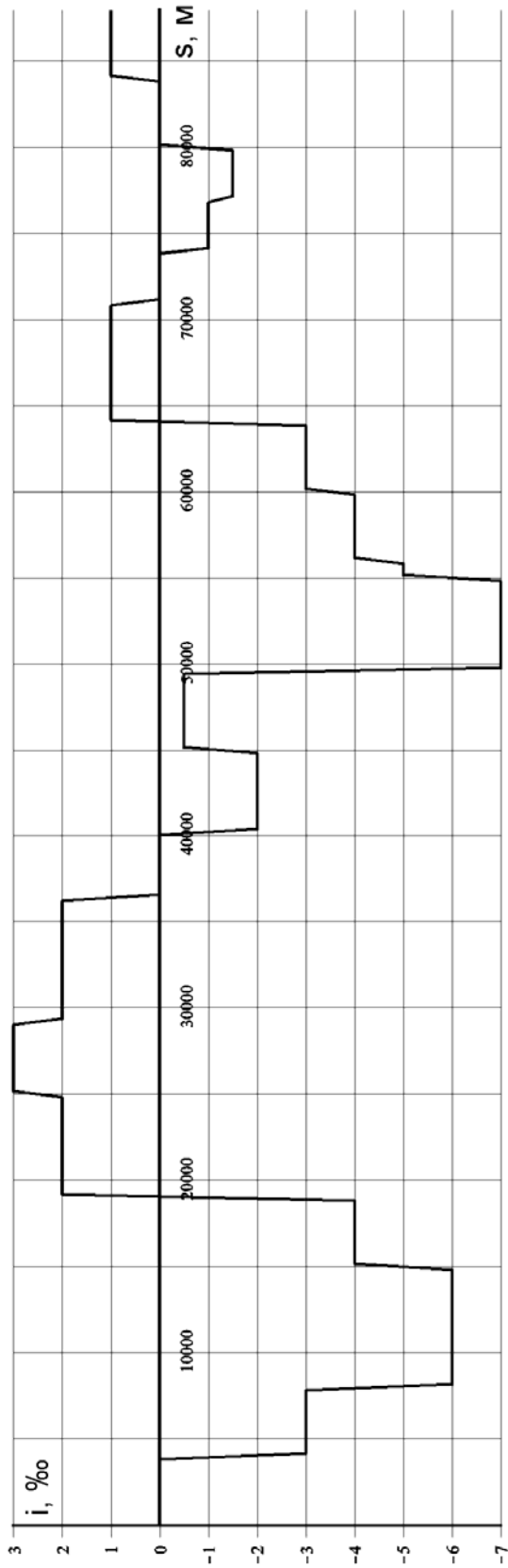


Рисунок 2.3 – Значення ухилів ділянки

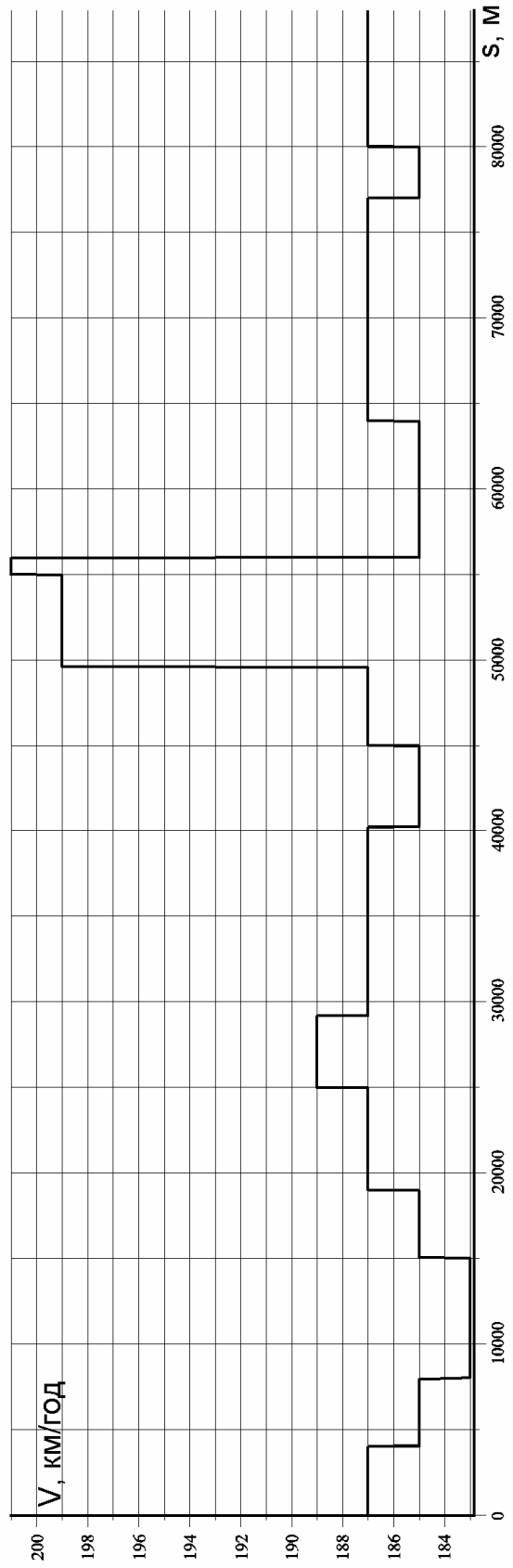


Рисунок 2.4 – Значення допустимих швидкостей

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

0032.160171.000.03МР.ПЗ

Для вказаних умов доцільно розв'язати задачу прицільного гальмування в довільній точці  $Sst_2$ . В автоматизованому вигляді її вигляд наступний.

```

vtor0 := 0 : stor0 := Sst2 : vn := 0 : p := 1 :
while vtorp-1 ≤ 150 do
dv := 10 : vk := vn + dv : dv2 := vk2 - vn2 : vs :=  $\frac{vn + vk}{2}$  :
dstor :=  $\frac{500 \cdot dv2}{zeta \cdot \left( \text{subs}(v = vs, wx05bt) + \text{subs}\left(s = \frac{stor_{p-1}}{1000}, uklon\right) \right)}$ ;
vtorp := vk : storp := storp-1 - dstor : vn := vk : p := p + 1 : od : tochkatorm := ceil(storp-1) :

```

## 2.8 Побудова кривих швидкості та часу ходу поїзда

При побудові кривої  $V = f(S)$  необхідно врахувати обмеження найбільшої допустимої швидкості руху поїзда:

- найбільша допустима швидкість поїзда за міцністю колії – 160 км/год;
- конструктивна швидкість тепловоза – 160 км/год;
- найбільш допустима швидкість при розв'язанні гальмівної задачі щодо руху керуючим ухилом >160 км/год;
- обмеження швидкості поїзда допустимими величинами прискорення та сповільнення, приведеними в наступному пункті розділу.

Максимально допустима швидкість руху поїзда при побудові кривої  $V = f(S)$  повинна прийматися як найменша з усіх перерахованих вище обмежуючих швидкостей.

Якщо при побудові кривої швидкості поїзда на спусках швидкість намагається перевищити допустиму, то необхідно застосовувати рекуперативне або службове регульовальне гальмування. В таких випадках рекомендується керуватися п. 1.4.8 ПТР, у відповідності з яким дозволяється будувати криву швидкості  $V = f(S)$  на таких спусках у вигляді горизонтальної лінії, яка проводиться нижче рівня допустимої швидкості на величину поправки  $\Delta V$ .

					0032.160171.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

При аналітичних розрахунках необхідно мати на увазі критерій, який покладено в основу вирішення задачі проходження поїзда по заданій ділянці: забезпечення мінімального часу руху з метою забезпечення найбільшої пропускної спроможності, а також забезпечення найменших витрат енергоресурсів.

При побудовах вважаємо, що центр маси поїзда розташовується приблизно посередині поїзда по його довжині, осі станцій – в середині елементів, на яких вони розташовані, вхідні стрілки – відповідно на відстані  $l_{\text{пвд}} / 2$  від осі станції.

Крива швидкості зображує рух центра маси поїзда. Коли поїзд, наприклад, входить на вхідні стрілки, центр маси поїзда знаходиться від них на відстані, рівній половині довжини поїзда  $l_n / 2$ . Це необхідно враховувати при побудові кривої швидкості при зупинці поїзда на станції. В даному випадку допустима швидкість руху 50 км/год для точки, яка зображує центр маси поїзда, повинна витримуватись не на границі, де розташовані стрілки, а на відстані  $l_n / 2$  від вертикальної лінії, що проведена через місце розташування вхідних стрілок на станційному елементі профілю колії.

Побудову кривої швидкості починаємо від осі першої станції заданої ділянки. Осі станцій заданої ділянки приводимо в середні елементів шляху, на яких вони розташовані.

Таким чином, криві швидкості і часу є результатом інтегрування рівняння руху поїзда, а діаграми питомих рівнодіючих сил є основою цього інтегрування.

В період зрушення з місця і розгону поїзда значення струму  $I_{\text{я}}$  слід приймати у відповідності з обмеженнями по зчепленню або по пусковому струму. Значення струму  $I_{\text{я}}$  визначається для швидкостей, які відповідають першій і кінцевій точкам кожного відрізка кривої  $V = f(S)$ .

Графік вказаних залежностей зображені на рис. 2.5.

					0032.160171.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

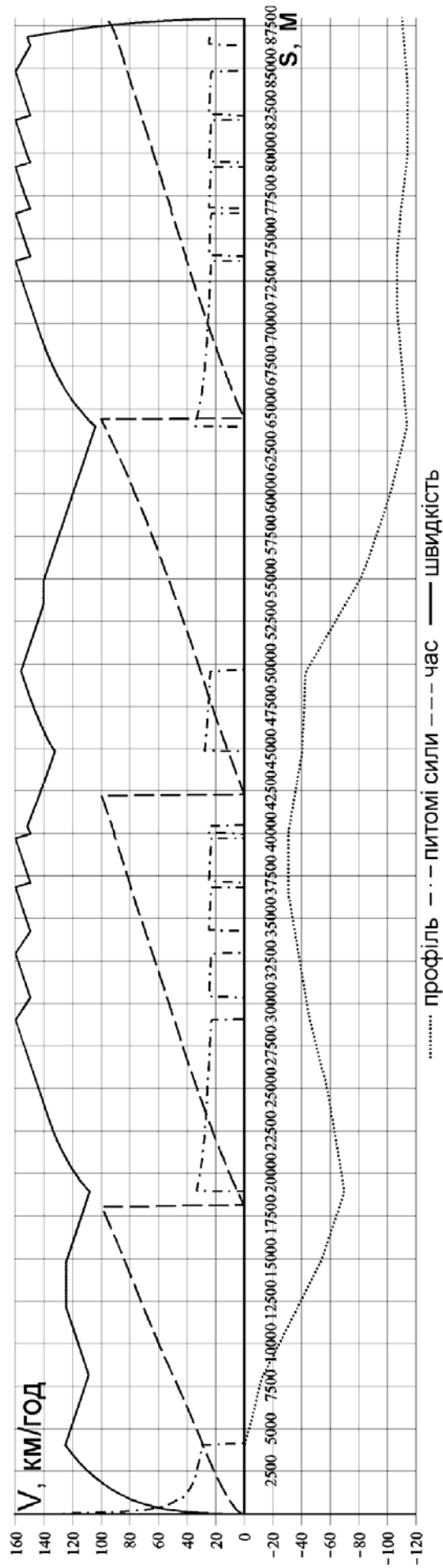


Рисунок 2.5 – Криві швидкості, часу, питомих сил, профіль

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

0032.160171.000.03МР.ПЗ

Арк.

46

## 2.9 Визначення витрат енергоресурсів

Витрати дизельного пального тепловозом на заданій дільниці, кг, визначають за формулою

$$E = Gt_m + g_x t_x, \quad (2.33)$$

де  $G$  – витрата дизельного пального тепловозом на режимі тяги, що відповідає 15-му положенню ручки контролера, кг/хв;

$t_m$  – сумарний час роботи тепловоза на режимі тяги, хв;

$g_x$  – витрата пального тепловозом при вимкненому струмі (режимі холостого ходу і гальмування), кг/хв;

$t_x$  – сумарний час руху тепловоза на режимі холостого ходу і гальмування, хв.

Розрахунки на математичній моделі дозволяють визначати витрату палива на кожному циклічному рішенні рівняння руху поїзда. Отже, розрахункові витрати дизельного палива складають 473 кг при часі ходу поїзда 39,8 хв.

Питома витрата пального на вимірювач, кг/10<sup>4</sup> ткм

$$e = \frac{E}{Q \cdot L} 10^4; \quad (2.34)$$

$$e = \frac{473}{645 \cdot 87,93} 10^4 = 83,42 \text{ кг/10}^4 \text{ ткм.}$$

Питома витрата пального приводиться до питомої витрати умовного пального, кг/10<sup>4</sup> ткм

$$e_y = e \cdot E, \quad (2.35)$$

де  $E$  – еквівалент дизельного пального ( $E = 1,43$ );

$$e_y = 83,42 \cdot 1,43 = 119,3 \text{ кг/10}^4 \text{ ткм.}$$

					<i>0032.160171.000.03MP.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

## 2.10 Визначення параметрів обмеження прискорення

Для визначення параметрів обмеження прискорення при наборі швидкості поїздом виконаємо побудову масиву траєкторій руху поїзда (рис. 2.6) для різних значень ухилів (рис. 2.7).

Для обмеження прискорення необхідно коригувати значення сили тяги локомотива. При визначенні виконуємо оптимізаційні розрахунки з коригуванням сили тяги шляхом множення значень тягової характеристики на певний коефіцієнт  $k_t \in [0,1]$  до моменту задовільнення умови за прискоренням  $a \leq 0,4$  м/с<sup>2</sup>. При тому прискорення в м/с<sup>2</sup> визначаємо за формулою

$$a = \frac{1000 \cdot V}{3600 \cdot 60 \cdot t}. \quad (2.36)$$

Оскільки побудови кривих швидкості виконано до значення швидкості 60 км/год, то формулу визначення прискорення можна спростити:

$$a = \frac{1000 \cdot 60}{3600 \cdot 60 \cdot t} = \frac{0,278}{t}. \quad (2.37)$$

Отже визначено такі параметри:

- при значенні ухилу  $i = -10\%$  значення коефіцієнта коригування сили тяги  $k_t = 0,73$ ;
- при значенні ухилу  $i = +2\%$  значення коефіцієнта коригування сили тяги  $k_t = 1$ .

Проміжні значення коефіцієнта коригування сили тяги  $k_t$  вказувати недоцільно, оскільки він має лінійну залежність та описується рівнянням

$$KT = \begin{cases} i < 2, & 0.0955 + 0.0225 \cdot i; \\ i \geq 2, & 1 \end{cases} \quad (2.38)$$

та має таку графічну залежність (рис. 2.8)

					0032.160171.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

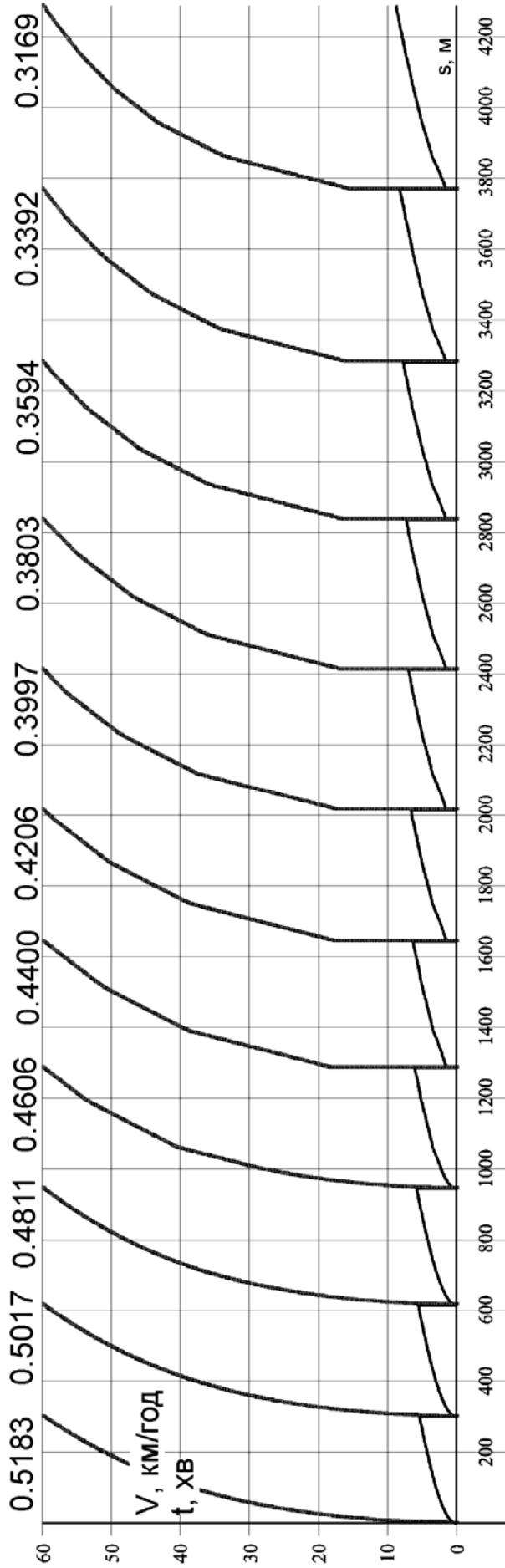


Рисунок 2.6 – Криві швидкості та часу з відповідними значеннями прискорення поїзда

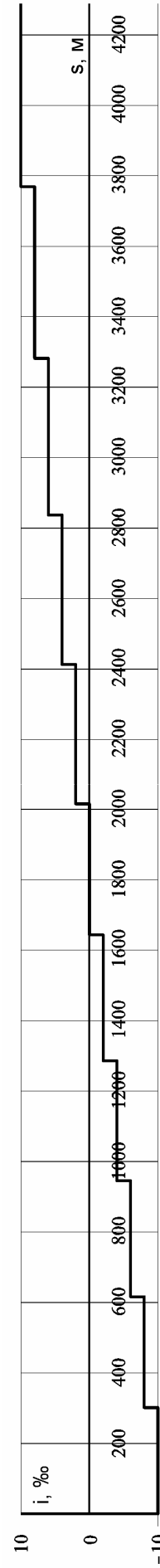


Рисунок 2.7 – Ухили профілю колії

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

0032.160171.000.03МР.ПЗ

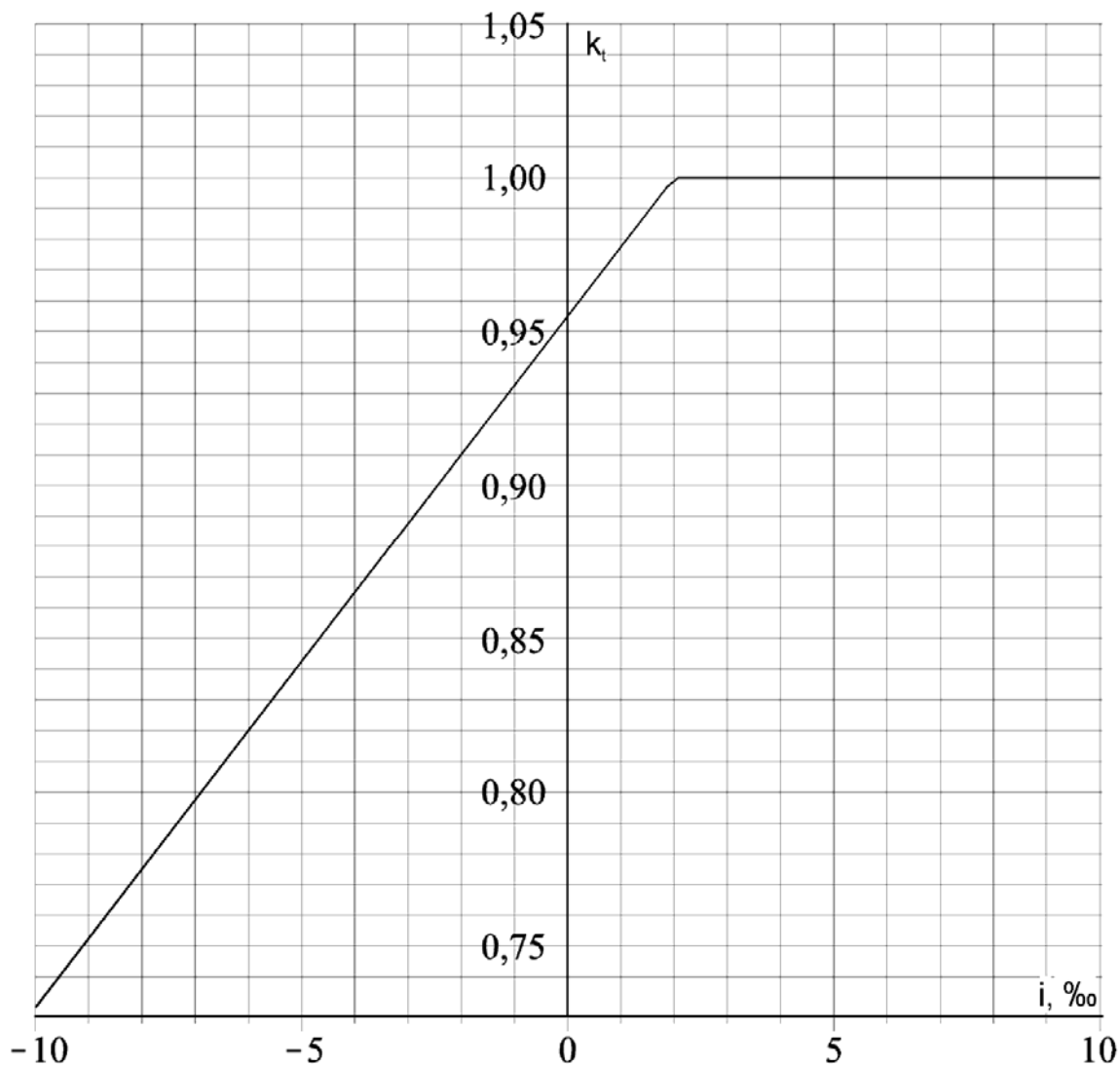


Рисунок 2.8 – Залежність коефіцієнта коригування сили тяги  $k_t$  від значення ухилу профілю колії  $i$

З урахуванням коефіцієнта коригування сили тяги  $k_t$  виконуємо побудову траєкторій руху поїзда (рис. 2.8) відповідно ухилів (рис. 2.9).

Для аналізу результатів пропонуємо порівняти отримані показники – технічну швидкість та витрату дизельного палива.

Технічна швидкість руху поїзда по дільниці в км/год визначається за формулою

$$V_T = \frac{L \cdot 60}{\Sigma t_i}, \quad (2.39)$$

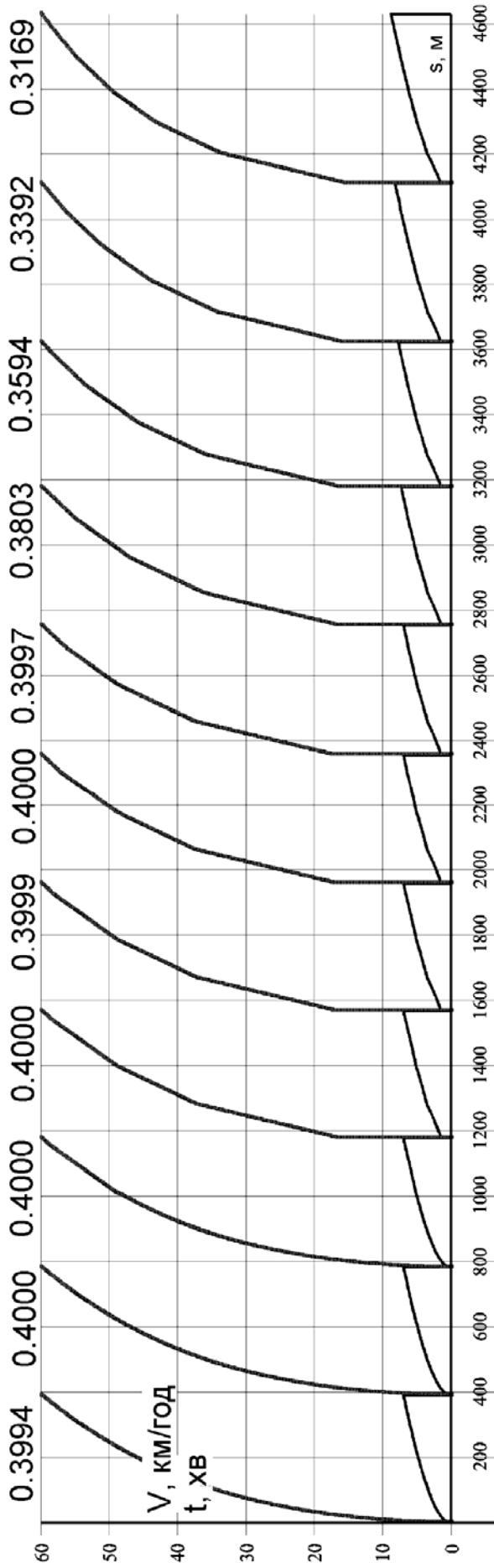


Рисунок 2.8 – Криві швидкості та часу з відповідними значеннями прискорення поїзда

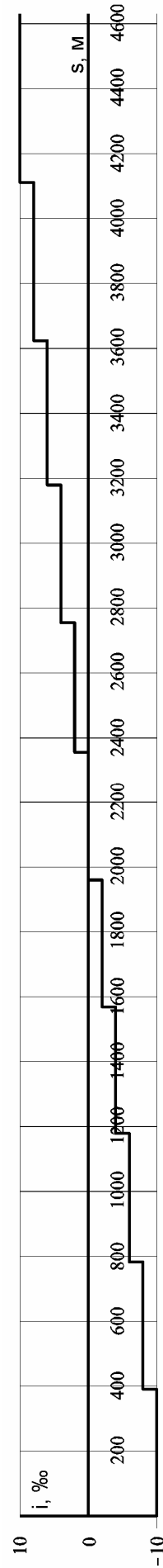


Рисунок 2.9 – Ухили профілю колії

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

0032.160171.000.03МР.ПЗ

де  $t_i$  – відповідно часи ходу поїзда по перегонах заданої ділянки, год, без обмеження прискорення  $\Sigma t_i = 7,719$  хв; при обмеженні прискорення  $\Sigma t_i = 8,303$  хв

$L$  – довжина ділянки, км, без обмеження прискорення  $L = 4,289$  км; при обмеженні прискорення  $L = 4,631$  км.

$$V_m = \frac{4,289 \cdot 60}{7,719} = 33,3 \text{ км/год};$$

$$V_m^{np} = \frac{4,631 \cdot 60}{8,303} = 33,5 \text{ км/год};$$

Різницю знаходимо за формулою

$$\delta_V = \left| \frac{V_m - V_m^{np}}{V_m} \right| \cdot 100; \quad (2.40)$$

$$\delta_V = \left| \frac{33,3 - 33,5}{33,3} \right| \cdot 100 = 0,6\%.$$

Щодо витрати дизельного палива, то маємо такі показники:

- без обмеження прискорення  $q = 160,4$  кг;
- при обмеженні прискорення  $q^{np} = 153,7$  кг.

$$\delta_q = \left| \frac{160,4 - 153,7}{160,4} \right| \cdot 100 = 4,17\%.$$

Отже, при обмеженні прискорення спостерігаємо зниження витрати дизельного палива на 4% при майже незмінній технічній швидкості.

					<i>0032.160171.000.03MP.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

## **3 ВИЗНАЧЕННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ВІД УДОСКОНАЛЕННЯ РЕЖИМІВ ВЕДЕННЯ ПАСАЖИРСЬКИХ ПОЇЗДІВ**

### **3.1 Розрахунок економічного ефекту від впровадження системи ведення поїздів**

Економічна ефективність – результат економічних програм і заходів, що характеризуються відношенням отриманого економічного ефекту до витрат факторів та ресурсів. Для виміру ефективності виробництва використовуються показники продуктивності праці, фондівдачі, рентабельності, окупності та ін. За їх допомогою порівнюються різноманітні варіанти розвитку виробництва та вирішення його структурних проблем [13].

Головними факторами підвищення економічної ефективності є науково-технічний прогрес, удосконалення техніки та технології виробництва, впровадження науково-технічних програм. Економічна ефективність багато в чому залежить від рівня, характеру і способу організації виробництва.

Однією з важливих складових економічної ефективності є ефективність капітальних вкладень. Вона виражається відношенням отриманого ефекту до капітальних вкладень, що викликали цей ефект. Ефективність капітальних вкладень вимірюється набором показників до яких входять загальний ефект капітальних вкладень, норма їх прибутковості, строк окупності, порівнювальна ефективність та ін. Капітальні вкладення, що направлені на розвиток локомотивного господарства, повинні бути використані ефективно. При визначенні ефективності капітальних вкладень розрізняють відносну і загальну економічну ефективність [13].

Відносна економічна ефективність капітальних вкладень визначається в тому випадку, коли має місце декілька варіантів вирішення однієї проблеми, які відрізняються розмірами капітальних вкладень та й експлуатаційними витратами. Крім того, найчастіше буває так, що варіант з низькими капітальними вкладеннями має великі експлуатаційні витрати. При порівнянні варіантів

					<i>0032.160171.000.03MP.ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		53

розраховують строк окупності чи коефіцієнт ефективності додаткових капітальних вкладень, приведені витрати, продуктивність праці, собівартість перевезення, а також ряд натуральних кількісних і якісних показників. Співставлення варіантів виконують за строком окупності у роках, що представляє собою відношення різниці капітальних вкладень до різниці експлуатаційних витрат за варіантами, що порівнюються. Коефіцієнт ефективності додаткових капітальних вкладень характеризує економію експлуатаційних витрат, що отримуємо на кожну гривню додаткових капітальних вкладень. При порівнянні декількох варіантів бажано враховувати приведені витрати по кожному з варіантів, що представляють собою суму експлуатаційних витрат та капітальних вкладень. Також для встановлення рівня віддачі від капітальних вкладень розраховують загальну ефективність капітальних вкладень. Але її розрахунок має галузевий рівень.

Таким чином, рішення про доцільність впровадження нової техніки, винаходів і раціоналізаторських рішень приймається на основі розрахунку економічного ефекту. Річний ефект представляє собою загальну суму економії живої праці, матеріалів і капітальних вкладень. Величина річного економічного ефекту визначається як різниця приведених витрат до і після впровадження нової техніки.

При визначенні економічної ефективності капітальних вкладень і організаційно-технічних заходів експлуатаційні витрати можна визначити двома способами: безпосереднім розрахунком або методом одиничних витратних ставок.

Для оцінки економічної ефективності нової техніки в локомотивному господарстві експлуатаційні витрати зручно визначати за укрупненими витратними нормами на одиницю окремих видів роботи або простою рухомого складу з врахуванням кількості вимірників.

Розробка та впровадження система автоматичного ведення поїздів (САВ) програмно-слідкуючого типу буде економічно виправданими, якщо витрати на

					0032.160171.000.03МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

розробку або придбання комплектів основного та допоміжного обладнання швидко окупляться за рахунок економії енергоресурсів. Вартість апаратної частини і програмного забезпечення САВ істотно залежать від вибору мікропроцесора та інших електронних компонентів системи.

В нашому випадку, виходячи із сьогоденної стандартизації економічних показників, розрахунок економічної ефективності будемо вести за показником чистого дисконтованого доходу (ЧДД):

$$\text{ЧДД} = \sum_T \frac{P_i}{(1 + \gamma)^T} - IC > 0, \quad (3.1)$$

де  $P_i$  – середньорічна величина економії енергії поїздом на ділянці, грн;

$T$  – рік грошового надходження. Приймаємо  $T = 1$  оскільки капітальні вкладення вносяться одноразово;

$\gamma$  – норма дисконту, приймаємо рівною 18 – 20% [13];

$IC$  – матеріальні витрати на впровадження нововведення, грн.

В нашому випадку внаслідок удосконалення режимів ведення поїздів частина зекономлених енерговитрат стає прибутком підприємства. Величину економії енергоресурсів приймаємо на мінімально можливому рівні – 4%.

Для розрахунків приймемо, що щодоби на ділянці курсує шість пар поїздів. Середня витрата палива одним локомотивом в прямому напрямі складає 1800 л. Таким чином, середньорічна витрата палива на ділянці одним поїздом основної складності складає близько 657000 л. Усереднена тарифна вартість палива для депо складає 25 грн/л. Таким чином, середньорічна величина економії палива локомотивом на ділянці складе 657000 грн.

Для розрахунків приймаємо умовно мінімальний строк служби САВ поїзда 15 років (близько 1600 тис км пробігу), виходячи зі строків експлуатації автоматизованих комп'ютерних систем управління.

Видатки підприємства в якості капітальних вкладень становитимуть, грн:

					0032.160171.000.03МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

$$IC = B_n + B_{GPS} + 2 \cdot B_{АЦП} + B_{дат}^{opt} + B_{дат}^{ел} + B_{обл}, \quad (3.2)$$

де  $B_n$  – матеріальні витрати на придбання ПЕОМ в якості ноутбука, грн.

Вартість ноутбука, що поєднує необхідну обчислювальну потужність з високою швидкістю, складатиме близько 5500 грн;

$B_{GPS}$  – вартість GPS приймача Garmin GPS 18, грн. Ринкова вартість приймача складає 980 грн;

$B_{АЦП}$  – вартість аналогово-цифрового перетворювача типу Ke-USB24R, грн. Ринкова вартість перетворювача складає 1100 грн;

$B_{дат}^{opt}$  – вартість оптичних датчиків силових кіл, грн. Приблизна вартість складає 1250 грн;

$B_{дат}^{ел}$  – вартість електронних датчиків та інших засобів реєстрації та стеження, грн. Приблизна вартість складає 3050 грн;

$B_{обл}$  – витрати на оплату праці з обладнання локомотива системою, грн.

Витрати на оплату праці зі встановлення обладнання, грн, розраховуємо за формулою:

$$B_{обл} = n \cdot ГТС \cdot t, \quad (3.3)$$

де  $n$  – фактична кількість виконавців певної спеціалізації, осіб. Для встановлення обладнання залучаємо двох слюсарів-електриків п'ятого розряду та інженера-механіка першої категорії;

$ГТС$  – годинна тарифна ставка обслуговуючого персоналу;

$t$  – фактичний час роботи обслуговуючого персоналу, год. Час, необхідний для обладнання локомотива бортовою САВ, складає близько трьох змін (24 год). Розподілимо час виконання по одній зміні на день.

Заробітну плату обслуговуючого персоналу, грн, розраховуємо наступним

					<i>0032.160171.000.03MP.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

чином:

$$ГТС = \frac{З_c}{Д_c}, \quad (3.4)$$

де  $З_c$  – середньомісячна заробітна плата. Для слюсарів-електриків п'ятого розряду приймаємо  $З_c = 3790$  грн; для інженера-механіка першої категорії – 5100 грн – згідно з порядком нарахування заробітної плати по локомотивним депо;

$Д_c$  – середньорічна кількість годин в місяці. Приймаємо  $Д_c = 168,3$  год.

Підставивши числові значення, отримаємо:

$$ГТС_{слюс} = \frac{3790}{168,3} = 22,52 \text{ грн};$$

$$ГТС_{інж} = \frac{5100}{168,3} = 30,30 \text{ грн.}$$

$$V_{обл} = 2 \cdot 22,52 \cdot 24 + 1 \cdot 30,30 \cdot 24 = 1808 \text{ грн.}$$

Таким чином, маємо:

$$IC = 5500 + 980 + 2 \cdot 1100 + 1250 + 3050 + 904 = 13884 \text{ грн.}$$

Отже, розраховуємо значення ЧДД:

$$ЧДД = \frac{657000}{(1 + 0,19)^1} - 13884 = 125359 \text{ грн.}$$

Отже, як видно з приведених розрахунків, чистий річний дохід з врахуванням знецінення грошових одиниць у часі склав 125359 грн.

За тими ж показниками розрахуємо індекс рентабельності:

					0032.160171.000.03МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

$$PI = \sum \frac{P_i}{(1 + \gamma)^T} / IC \geq 1, \quad (3.5)$$

$$PI = \frac{657000}{13884} = 47 > 1.$$

Виходячи з виконання основних умов економічного розрахунку: ЧДД > 0, PI ≥ 1, можна судити про доцільність та необхідність впровадження системи автоматичного ведення поїздів.

Всі розрахунки проведено за усередненими значеннями для поїзда основної складності.

					0032.160171.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

## 4 РОЗРОБКА СИСТЕМИ ДЛЯ УДОСКОНАЛЕННЯ РЕЖИМІВ ВЕДЕННЯ ПАСАЖИРСЬКИХ ПОЇЗДІВ

### 4.1 Переваги систем раціонального ведення поїздів

Системи автоведення поїздів призначені для автоматизації управління рухом поїздів, включаючи пуск і розгін, вибір режиму ведення поїзда на перегонах, пригальмовування при виконанні обмежень швидкості, прицільне гальмування біля платформ, збір і обробку інформації про рух поїзда.

Системи автоведення поїздів дозволяють одержати наступний техніко-економічний ефект:

- підвищити точність виконання графіка руху поїздів, а також використання пропускнуої спроможності ліній і ділянок;
- знизити витрату палива на тягу поїздів;
- збільшити продуктивність праці локомотивних бригад;
- полегшити роботу машиніста;
- підвищити оперативність і обсяг інформації про рух поїздів;
- автоматизувати процес документування показників роботи.

Точність виконання графіка руху при ручному управлінні низька, оскільки машиніст володіє інформацією лише з розкладу, де вказаний час проходження поїзда по станціях, платформах. Отже, по перегону машиністи ведуть поїзди довільно, орієнтуючись тільки на сигнали автоблокування, обмеження швидкості та час проходження станцій. При цьому можливий збій графіка руху поїздів.

Важливим параметром ефективності систем автоведення поїздів з дизельною тягою є економія палива. Витрата палива при використуванні САВ знижується внаслідок застосування:

- оптимальних програм руху поїздів;
- скорочення відхилень від оптимальних часів ходу по перегонах;
- зменшення числа гальмувань по сигналах світлофорів, що вимагають зниження швидкості;

					0032.160171.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

- часу на прицільне гальмування біля платформ.

До збільшення витрати палива приводить поява жовтих і червоних сигналів світлофорів внаслідок відхилення поїздів, що йдуть попереду, від графіка руху. Системи автоведення на поїздах, забезпечуючи виконання графіка, виключають зайві гальмування перед жовтими і червоними сигналами світлофорів, що дозволяє знизить витрату палива в порівнянні з ручним управлінням. Одержати вказаний ефект можливо лише при автоматизації ведення всіх поїздів, експлуатованих на даній ділянці.

Таким чином, економія палива від експлуатації поїздів з системами автоведення у різних випадках складає від 4 до 10% від існуючих норм витрат. Разом з тим, крім економії палива, є цілий ряд непрямих переваг застосування таких систем. Наприклад, більш точне виконання графіка руху в порівнянні з ручним управлінням збільшує пропускну спроможність ділянки на 10–12%, а число позапланових гальмувань знижується на 10–15% [8].

Поряд з цим є непрямі переваги, які неможливо оцінити грошовим еквівалентом. Система дозволяє швидко наблизити рівень управління поїздом малодосвідченого машиніста до рівня кваліфікованого фахівця і навчити його правильному вибору режимів ведення поїзда. Таким чином, система виконує функції тренажера для локомотивної бригади, знижуючи витрати на навчання. Нарешті, головне – система дозволяє підвищити безпеку руху за рахунок звільнення машиніста від ряду рутинних операцій з ведення поїзда.

## **4.2 Принцип будови та робота систем автоматичного ведення поїздів**

### **4.2.1 Теоретичні основи роботи системи**

Сьогодні з усіх систем локомотивної автоматики найбільш передовими, виходячи з обсягів та складності завдань, що вирішуються, є саме системи автоведення. Вони діляться на три основні групи в прямій залежності від класу тягового рухомого складу:

- автоматичне ведення поїзда;

					0032.160171.000.03МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

- автоматичне ведення локомотива пасажирського поїзда;
- автоматичне ведення локомотива вантажного поїзда.

І хоча мета застосування систем автоведення для всіх груп одна, для кожної з них вона реалізується абсолютно по різному, зважаючи на корінні відмінності в особливостях експлуатації рухомого складу, які слід розглянути більш докладно.

Поїзди, які мають значний запас по силі тяги, відносно невеликій вазі, здатні реалізовувати значні прискорення (до  $0,75 \text{ м/с}^2$ ) [10].

Їх експлуатація пов'язана з частою зміною режимів руху “розгін – гальмування”; зазвичай такі поїзди використовуються на ділянках з найбільш інтенсивним рухом, де потрібно дуже точне дотримання розкладу руху (до 30 с) [11].

Виходячи з цього, була визначена концепція системи автоматичного ведення поїзда:

- дотримання перегонного часу ходу;
- виконання розкладу поїзда для кожного конкретного маршруту;
- дотримання швидкісного режиму, що виключає перевищення встановлених швидкостей руху, у тому числі в місцях дії обмежень швидкості;
- дотримання сигналів світлофорів, що вимагають зниження швидкості;
- розрахунок кривої поїзда з урахуванням вимоги мінімізації витрат палива;
- вимірювання фактичної швидкості руху і порівняння її з розрахунковою, вибір відповідної тягової позиції;
- розрахунок координати місцезнаходження поїзда (що особливо актуально в умовах недостатньої видимості);
- сповіщення пасажирів про назви зупиночних пунктів, про правила проїзду в поїздах та ін.;
- повідомлення локомотивній бригаді необхідної інформації про місця підвищеної пильності, сигнали автоматичної локомотивної сигналізації (АЛСН), місця обмеження швидкості, розташування пристроїв, повз які необхідно прослідувати з відключеною тягою, про зупиночні пункти і станції.

					<i>0032.160171.000.03MP.ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		61

У перших зразках системи автоматичного ведення поїзда для виконання графіка руху і економії палива в системі автоведення реалізовано механізм регулювання часу ходу, заснований на попередньому розрахунку траєкторії руху поїзда для заданого розкладу.

Побудована крива руху розбивається системою на відрізки, що відповідають режимам ведення.

Система застосовує прицільне гальмування поїзда при наближенні до світлофорів, які вимагають зниження швидкості, і до місць дії обмежень швидкості, які або вводяться заздалегідь (закладаються в пам'ять), або задаються натисненням кнопки клавіатури управління.

Управляти поїздом за допомогою САВ машиніст може на свій розсуд, переключивши систему в режим автоведення або в режим підказки відповідно до показань індикатора. Спрощена блок-схема роботи системи автоматичного ведення поїзда наведена на рис. 4.1.

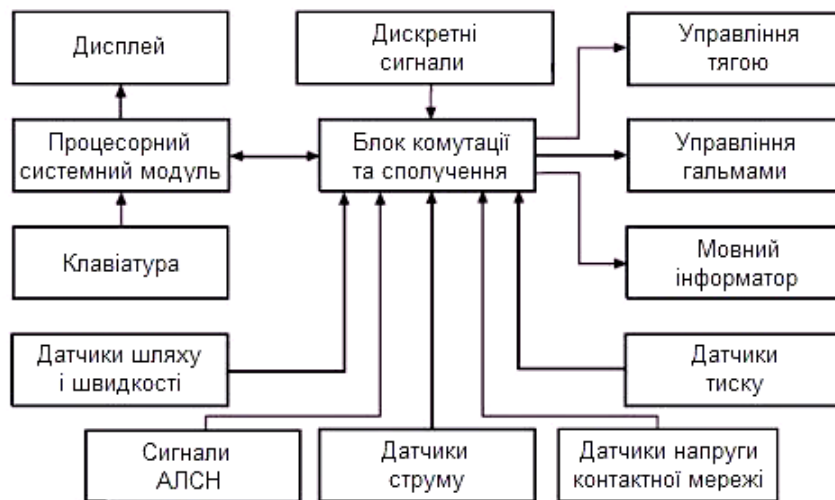


Рисунок 4.1 – Спрощена блок-схема системи автоведення

Значний обсяг в апаратурі систем автоведення поїзда відводиться блоку мовного інформатора, який не тільки виконує функції оповіщення пасажирів, а й, спираючись на сигнали датчика шляху і швидкості і АЛСН, повідомляє машиністу про наближення до переїздів, мостів, тунелів, постам виявлення нагріву букс (приладів ПОНАБ, ДИСК), а також про обмеження швидкості, жовті

і червоні сигнали АЛСН. Ця функція, по-перше, сприяє підвищенню безпеки руху, привертаючи увагу локомотивної бригади до місць і подій, які вимагають підвищеної пильності чи дотримання особливих умов, а по-друге, полегшує роботу машиніста і його помічника, позбавляючи останніх необхідності читати інформаційні повідомлення для пасажирів.

#### **4.2.2 Апаратне забезпечення систем автоматичного ведення**

Експлуатаційні вимоги до електроніки систем автоведення досить жорсткі. Вироби для застосування на рухомому складі входять в ту ж групу, що і вироби для космосу та авіації, а деякі вимоги, що пред'являються до залізничної апаратури, навіть більш жорсткі, ніж авіаційні (наприклад, вібро- та ударостійкість). Апаратура системи автоведення повинна зберігати працездатність в наступних умовах експлуатації [11]:

- діапазон робочих температур від  $-40$  до  $+55^{\circ}\text{C}$ ;
- діапазон температур зберігання від  $-55$  до  $+60^{\circ}\text{C}$ ;
- відносна вологість повітря до 95% при  $+25^{\circ}\text{C}$  без конденсації вологи;
- вібрація в діапазоні частот від 1 до 150 Гц при амплітуді віброприскорення по вертикальній і горизонтальній осях до 1g;
- синусоїдальна вібрація в діапазоні частот від 5 до 7 Гц при амплітуді вібропереміщення до 5,0 мм, в діапазоні частот від 7 до 10 Гц при амплітуді вібропереміщення до 2,5 мм і в діапазоні частот від 10 до 150 Гц при амплітуді віброприскорення до 1g ;
- одиночні удари з максимальним прискоренням до 7,5g і тривалістю до 60 мс;
- діапазон вхідних напруг живлення 36–72 В або 80–160 В.

При цьому завдання розрахунку оптимальної траєкторії потребує такої обчислювальної потужності [12]:

- процесор з тактовою частотою 1,66 гГц або вище;

					<i>0032.160171.000.03MP.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		63

- оперативна пам'ять не менше 32 Мбайт;
- флеш-диск об'ємом не менше 16 Мбайт.

Модуль центрального процесора системи автоматичного ведення наведено на рис. 4.2.



Рисунок 4.2 – Модуль центрального процесора

З периферії на процесорній платі повинні бути 2 COM-порти і 1 EPP-сумісний паралельний порт, порт для PS/2 клавіатури. Бажано мати на платі SVGA-адаптер, вхід миші і IDE- і FDD-інтерфейси. Для розширення процесорна плата повинна мати один з роз'єм типу PC/104 або ISA-8.

#### ***4.2.3 Програмне забезпечення систем автоведення***

Програми систем автоведення є програмами реального часу, що мають циклічний або подієво-циклічний характер. Це означає, що у всіх програмах є, як мінімум, один цикл вимірювання-управління: опитування датчиків – обробка інформації – її аналіз – прийняття керуючого рішення – видача команди на виконавчі елементи. Цей цикл може бути жорстко розбитий на більш дрібні тимчасові інтервали (такти) для створення тимчасової сітки. Також всі програмні модулі можуть бути прив'язані тільки до основного циклу. Обробка зовнішніх подій типу зміни сигналу АЛСН може відбуватися або в заданому місці циклу вимірювання-управління, або асинхронно, відразу в момент виникнення події. У першому випадку керуюча програма має циклічну побудову, у другому – подієво-циклічну [12].

					<i>0032.160171.000.03MP.ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		64

Циклічні системи простіші у проектуванні та налагодженні, однак, якщо потрібно миттєва реакція на подію, то слід віддавати перевагу подієво-циклічним системам.

Для рухомого складу, як правило, час реакції до однієї секунди на будь-яку виникаючу подію не є критичним, тому допустимо будувати чисто циклічні програми. Програмне забезпечення систем автоведення поїзда базується на тому, що всі події в системі можуть бути оброблені за один цикл вимірювання-управління. Це обумовлено малим обсягом обчислень безпосередньо на борту. Тому бортова програма САВ поїзда, як правило, написана без застосування спеціальних програмних засобів реального часу. Вона являє собою програму під MS-DOS, перенесену на бортовий обчислювач.

У той же час програма автоведення для пізніших модифікацій систем автоведення поїздів має ряд модулів, час роботи яких значно перевищує один цикл вимірювання-управління і, більше того, заздалегідь не визначений. До таких завдань відносяться розрахунок оптимальної траєкторії і попередній розрахунок позицій контролера на ділянках стабілізації швидкості. Організація роботи програми при наявності низки завдань з різним часом обчислень і різними пріоритетами вимагає спеціальних програмних засобів [12].

Такі засоби надаються операційними системами реального часу, які дають можливість організувати багатозадачне середовище на системному рівні, побудувати механізм визначення та зміни пріоритетів, працювати в жорсткому часовому циклі, обмінюватися повідомленнями між різними завданнями, мати механізми захисту системи від збоїв.

Тому при подальшому створенні системи автоведення постало питання про підбір операційної системи реального часу (ОС РЧ). ОС РЧ повинна була відповідати таким критеріям:

- малий час на перенесення програми розрахунку оптимальної траєкторії руху, яка є у варіанті бібліотеки DLL під Win32;
- невеликий час на освоєння власне операційної системи;

					<i>0032.160171.000.03MP.ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змін.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		65

- мінімальні витрати на покупку операційної системи;
- мінімальні витрати на ліцензування кожної копії операційної системи на борту.

З операційних систем реального часу, що застосовуються сьогодні, найбільш популярними є QNX, VxWorks/Tornado, OS-9, Windows CE.

#### 4.3 Умови роботи систем автоведення та автоматичного управління

На роботу систем автоведення та автоматичного управління РС справляють істотний вплив різні фактори. Найсуттєвіші з них: нестабільність напруг живлення, нестабільність температур, вплив вібрацій та динамічних імпульсів, електромагнітні перешкоди.

Нижні допустимі значення напруг в колах управління можуть бути описані такими залежностями [12]:

$$U_{\text{мін}}^{\text{КУ}} = 0,6 \cdot U_{\text{ном}}^{\text{КУ}}, \quad (4.1)$$

де  $U_{\text{мін}}^{\text{КУ}}$  – мінімальна напруга в колах управління, В;

$U_{\text{ном}}^{\text{КУ}}$  – номінальна напруга в колах управління, В.

Перевищення температури у вузлах систем автоматики по відношенню до навколишнього середовища може досягати  $70 \div 80^{\circ}\text{C}$ , а в окремих електронних елементах до  $125 \div 140^{\circ}\text{C}$  [12].

Вплив вібрацій та динамічних імпульсів можна охарактеризувати наступною формулою:

$$P_{\partial} = a_{\partial} \cdot \frac{G}{g} = k_{\partial} \cdot G, \quad (4.3)$$

де  $P_{\partial}$  – динамічне зусилля на елемент автоматики;

$a_{\partial}$  – динамічне прискорення;

					<i>0032.160171.000.03MP.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		66

$G$  – вага даної частини;

$g$  – прискорення вільного падіння;

$k_D$  – коефіцієнт динаміки.

Значення  $k_D$  залежить від місця розташування елементів на РС і від способу їх встановлення. Навіть у найбільш сприятливих умовах  $k_D$  більше одиниці, тому з такими перешкодами доводиться рахуватися.

Значення електромагнітних впливів, як правило, досягають значних величин, особливо в тих випадках, коли на РС застосовують силові тиристорні перетворювачі. Ці пристрої під час своєї роботи можуть наводити до 600 мВ перешкод на метр провідника. Для того щоб захистити елементи автоматики доводиться застосовувати спеціальні заходи: підвищувати потужність всіх сигналів, застосовувати екранування каналів зв'язку, використовувати неелектричні способи передачі сигналу і т.д.

#### **4.4 Уніфікована система автоматизованого ведення поїздів**

##### **4.4.1 Призначення**

Мікропроцесорна уніфікована система автоматизованого ведення поїздів призначена для автоматизованого управління поїздами з метою точного дотримання часу ходу, що задається графіком або іншим нормативним документом, на основі вибору режиму руху, при якому реалізується режим прискорення в допустимих межах.

##### **4.4.2 Технічні характеристики**

Живлення системи здійснюється від бортової мережі локомотива і може бути виконане у двох варіантах:

- від 35 В до 75 В постійного струму;
- від 75 В до 130 В постійного струму.

					0032.160171.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		67

Максимальна споживча потужність не перевищує 75 Вт при напрузі живлення  $50\pm 2$  В або  $110\pm 2$  В при максимальній кількості включених реле.

Продуктивність внутрішнього процесора системи складає 300 МГц, зовнішня Flash-пам'ять – 32 Мб.

Загальна маса системи з монтажним комплектом – 38,4 кг.

Система УСАВП гальванічно розв'язана від низьковольтних кіл управління і сигналізації локомотива.

#### **4.4.3 Функціональні можливості системи**

Система автоведення реалізує наступні функції [12]:

- автоматизоване ведення поїзда із застосуванням математично обгрунтованого енергозберігаючого алгоритму, що враховує профіль колії, постійні і тимчасові обмеження швидкості руху;
- гальмування під заборонюючі та обмежуючі сигнали світлофорів з точністю до 10 м, а також гальмування для виконання постійних і тимчасових обмежень швидкості;
- можливість коригування машиністом інтенсивності розгону і гальмування поїзда;
- ліквідацію запізнь поїзда від розкладу руху з використанням адаптивного алгоритму, який може коригуватися машиністом;
- режим “Автоведення”, реалізований в системі, звільняє машиніста від багатьох рутинних операцій, пов'язаних з управлінням поїздом. Дії машиніста зводяться до контролю поїзної ситуації, виконання гальмування для зупинки і спостереження за роботою системи автоведення. При цьому забезпечується активація діяльності машиніста завдяки мовним повідомленнями системи автоведення про наближення колійних об'єктів та зміну сигналів світлофорів;
- автоматизоване робоче місце підготовки даних, що входить до складу системи автоведення, дозволяє розрахувати енергооптимальну траєкторію руху поїзда для керуючої бортової програми, що використовується в системах

					<i>0032.160171.000.03MP.ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		68

автоведення, а також провести корегування цієї програми при зміні розкладу.

Система приймає з борту поїзда:

- сигнали з датчика кутових переміщень;
- інформацію про сигнали світлофора;
- інформацію про сигнал боксування;
- інформацію про наявність різних типів гальмування;
- сигнали з датчика тиску (якщо він встановлений).

На підставі інформації про ділянку обслуговування і прийнятої з борту інформації система забезпечує:

- розрахунок раціонального за витратою дизельного палива часу ходу поїзда по окремих перегонах, виходячи з передбаченого графіка часу проходження контрольних станцій;

- визначення фактичної швидкості руху;

- розрахунок поточного астрономічного часу і часу, що залишився до контрольної станції;

- визначення необхідної швидкості руху поїзда для виконання розрахункового часу ходу, в тому числі на ділянках наближення до сигналів світлофора, що вимагають зниження швидкості, при під'їзді до місць дій обмеження швидкості;

- вибір ПКМ локомотива в залежності від необхідної величини швидкості;

- розрахунок координат шляху та місця розташування поїзда щодо платформи.

На підставі інформації про ділянку обслуговування, проведених вимірювань і розрахунків система УСАВП:

- управляє поїздом, залишаючи пріоритет управління за машиністом, при цьому система:

– розганяє поїзд до раціональної швидкості;

– підтримує задану швидкість руху;

– знижує швидкість руху при під'їзді до місць дії постійних або тимчасових

					0032.160171.000.03МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		69

обмежень швидкості;

- дублює сигнали локомотивного світлофора;
- відслідковує сигнал про боксування, знижуючи або відключаючи тягу при боксуванні і відновлюючи її після припинення боксування;
- у разі ручного управління інформує машиніста про рекомендовані режими руху;
- постійно інформує машиніста:
  - про розрахункове значення енергетично раціональної швидкості руху з точністю до  $\pm 1$  км/год;
  - про фактичне значення швидкості поїзда з точністю до  $\pm 1$  км/год;
  - про час ходу, що залишився до контрольної станції з точністю  $\pm 10$  с;
  - про довжину шляху до найближчої зупинки з точністю 10 м;
  - про координату початку найближчого тимчасового обмеження швидкості з точністю індикації 100 м, а при наближенні до неї – про довжину шляху, що залишилася до місця початку обмеження;
  - про тягову позицію або про стан гальм в режимі гальмування.
- додатково машиніст може отримати інформацію:
  - про астрономічний час з дискретністю 1 с;
  - про номер та назву перегону, на якому знаходиться поїзд;
  - про координату місцезнаходження поїзда (км, пікет);
- на вимогу машиніста подає йому службові повідомлення у звуковому вигляді, при цьому в салони вагонів поїзда подається необхідна звукова інформація для пасажирів.

Система УСАВП безперервно контролює правильність роботи функціональних вузлів апаратури та в разі виявлення порушень в їх роботі подає на індикатор сигнал “Збій”.

#### **4.4.4 Апаратна частина УСАВП**

Конструктивно система УСАВП складається з наступних одиниць [12]:

					<i>0032.160171.000.03MP.ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		70

- блок автоматики (БА);
- блок індикації (БІ);
- блок клавіатури (БК);
- сполучні кабелі;
- датчик кутових переміщень (ДКП).

Апаратура УСАВП встановлюється на головному вагоні. Блок ДКП монтується на буксі колісної пари першого вагона.

Блок автоматики (БА) призначений для обробки вхідних дискретних сигналів від низьковольтних кіл управління тепловоза, частотних сигналів від датчика шляху і швидкості, розрахунку параметрів руху, видачі в колі управління тепловозом команд управління, видачі звукових повідомлень, контролю справності системи. Блок автоматики містить носій, на який записано розклад руху поїздів, характеристики ділянок, алгоритм роботи системи. Загальний вигляд блоку автоматики системи приведено на рис. 4.3.



Рисунок 4.3 – Блок автоматики (БА) системи УСАВП

Блок індикації (БІ) призначений для виведення на індикацію інформації машиністу про роботу системи. Загальний вигляд блоку індикації системи приведено на рис. 4.4. Основний екран блоку індикації наведено на рис. 4.5.

Блок індикації інформує машиніста про поточні параметри прямування:

					<i>0032.160171.000.03MP.ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		71



частоти обертання (числа обертів) колісної пари, де він встановлений, в послідовність імпульсів, що надходить до блоку автоматики (БА).



Рисунок 4.6 – Блок клавіатури (БК) системи УСАВП

#### **4.4.5 Основні складові ефекту застосування**

Як вже зазначалося, система автоведення поїздів УСАВП призначена для забезпечення автоматизованого управління режимами тяги і електропневматичного гальмування та дозволяє з високою точністю виконати графік руху при забезпеченні оптимальної витрати дизельного палива на тягу поїздів і полегшувати роботу машиністів.

Основні складові ефекту застосування такі [12]:

- підвищується пропускна спроможність ділянки на 10–12% за рахунок більш точного виконання графіка руху в порівнянні з ручним управлінням;
- знижується число позапланових гальмувань;
- підвищується дільнична швидкість руху на 2–3 км/год;
- скорочується витрата дизельного палива від 2 до 10% (залежно від умов експлуатації);
- підвищується рівень безпеки руху;
- забезпечується інформаційна підтримка діяльності машиніста, знижується негативний вплив складних поїзних ситуацій на його психофізіологічний стан;
- скорочуються терміни навчання машиністів та освоєння молодосвідченими машиністами енергооптимальних алгоритмів ведення поїзда;
- підвищується якість обслуговування пасажирів за рахунок точного дотримання розкладу та гарантованого оголошення назв зупиночних пунктів та

					<i>0032.160171.000.03MP.ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		73

іншої соціальної інформації.

#### 4.5 Загальні вимоги до апаратно-програмного комплексу

На підставі [12] сформулюємо деякі загальні вимоги до АПК з розрахунку раціональних режимів ведення поїзда:

1) структура програмного комплексу повинна забезпечувати введення і збереження вихідної нормативно-довідкової інформації, такої як: характеристики профілю і плану шляху, включаючи тимчасові і постійні обмеження швидкості, відомості про роздільні пункти, характеристики ТРС і тягових двигунів, а також інформацію про складність поїзда, рівень його забезпеченості гальмівними засобами, їх характеристики. Слід передбачити можливість внесення та обліку різних чинників, що відбивають реальні умови пропуску поїздів – непланові обмеження швидкості, затримки на станціях, зношування бандажів колісних пар;

2) можливість адаптації системи для різних серій тепловозного рухомого складу;

3) оперативна взаємодія в реальному масштабі часу з реєстраторами таких параметрів руху як швидкість, струми ТЕД, сигнали АЛС, позиції контролера машиніста, відображення і збереження цих параметрів для подальшого аналізу;

4) реалізація АПК у варіанті системи, що розвивається і допускає нарощування числа і складу реєстрованих параметрів, модифікації моделі руху, виду та алгоритмів процедур обробки, способів відображення результатів. Так само необхідно передбачити резерв числа вимірювальних каналів з можливістю підключення додаткових реєстраторів параметрів гальмівних пристроїв, параметрів роботи допоміжного обладнання;

5) інформація, що виводиться, повинна представлятися у вигляді режимної карти (в табличній і графічній формах), що включає пікетаж, швидкість руху попікетно, позицію контролера машиніста, час від початку руху, струм генератора та ТЕД, обмеження швидкості, криві швидкості руху і струму;

6) математична модель повинна враховувати всі існуючі режими ведення

					0032.160171.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		74

поїзда, можливість аналізу їх довільних комбінацій, високу швидкість і достатню точність обчислень, а також забезпечувати заданий час руху поїзда по ділянці;

7) система повинна виконувати оперативний розрахунок раціональних режимів ведення поїзда, що забезпечують:

- мінімальну витрату дизельного палива на тягу поїзда при дотриманні вимог з безпеки руху;

- графіковий або заданий перегонний час ходу, планові і позапланові обмеження швидкості.

При виконанні поїздки програмне забезпечення повинне здійснювати почергове опитування приладів вимірювання силових кіл, швидкості, положення контролера машиніста і показань АЛС, підключених через загальну лінію зв'язку до СОМ-порту обчислювального пристрою.

Датчики і блок збору інформації не повинні впливати на роботу пристроїв і повинні забезпечувати гальванічну розв'язку між колами тепловоза і АПК, надійне зняття інформації в умовах експлуатації на тепловозному рухомому складі.

#### **4.6 Технічна реалізація апаратно-програмного комплексу**

В даній магістерській дипломній роботі пропонується до розробки автономна програмно-слідкуюча САВ поїзда з тепловозною тягою на основі мікроконтролерного управління.

В процесі виконання даної роботи було розроблено алгоритм оптимальних режимів ведення поїзда по ділянці, схему принципів функціонування системи автоматичного ведення поїзда, здійснено підбір основних виконавчих блоків системи та технічних засобів збору та реєстрації параметрів АПК.

Алгоритм роботи програми повинен базуватись на чіткому дотриманні графікового перегонного часу ходу з максимальним використанням кінетичної енергії руху поїзда при виконанні всіх аспектів безпеки руху.

Серед технічних засобів, що будуть надавати АПК значення параметричних

					<i>0032.160171.000.03MP.ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		75

величин під час руху поїзда, необхідно виділити:

- 1) датчик координати і швидкості (GPS приймач);
- 2) датчики струму та напруги силових кіл;
- 3) датчик температури нагріву букс;
- 4) датчик температури зовнішнього повітря;
- 5) датчик реєстрації параметрів вібрації (вібродатчик);
- 6) датчик реєстрації прискорюючих і сповільнюючих сил (прискорення);
- 7) датчик позиції контролера машиніста;
- 8) датчик АЛСН.

Сигнали від датчиків АЛСН та позиції контролера машиніста є цифровими, від всіх інших видів датчиків – аналоговими. Аналогові сигнали будуть перетворені у цифрові за допомогою АЦП (аналогово-цифрового перетворювача).

#### ***4.6.1 Аналогово-цифрові перетворювачі (АЦП)***

АЦП – це перетворювачі, що конвертують аналогові дані, зазвичай напругу, в еквівалентний цифровий сигнал, який сумісний з цифровими пристроями обробки даних. Основними характеристиками АЦП є: абсолютна і відносна похибка, лінійність, швидкість перетворення, стабільність. Доволі часто, особливо коли ціна АЦП має вирішальне значення, використовують перетворювачі, реалізовані з дискретних компонентів або у вигляді монолітних виконавчих систем. Найбільш популярними є АЦП, побудовані на принципі послідовного наближення, які дають можливість знайти хороший компроміс між швидкістю і точністю. Коли на потрібна висока швидкість перетворень часто застосовують інтегруючі АЦП та перетворювачі напруги в частоту.

Таким чином, аналогово-цифровий перетворювач перетворює аналогову (безперервну) напругу в цифрову форму, придатну для вводу в мікропроцесор. Такі елементи встановлюють на вхідні канали мікропроцесорних систем управління для вводу в САР керуючих, контрольних сигналів та сигналів зворотних зв'язків.

					<i>0032.160171.000.03MP.ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		76

В даній роботі до впровадження в якості АЦП пропонуємо модуль Ke-USB24R. Для сполучення модуля з комп'ютером (центральною системним блоком) слугує USB. Загальний вигляд модуля Ke-USB24R приведено на рисю. 4.7.

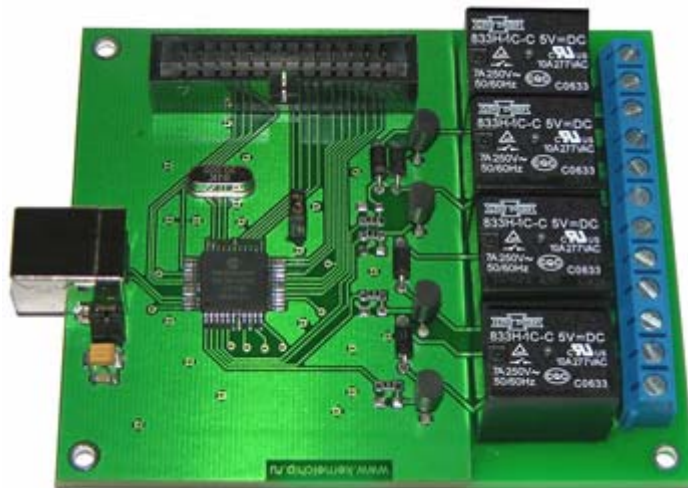


Рисунок 4.7 – Загальний вигляд модуля Ke-USB24R

Модуль Ke-USB24R призначений для сполучення зовнішніх цифрових і аналогових пристроїв, датчиків і виконавчих механізмів з комп'ютером через шину USB. Він має у своєму складі чотири потужних реле для управління високовольтними ланцюгами і навантаженнями. Визначається системою як додатковий (віртуальний) COM-порт. Модуль має 18 дискретних ліній вводу та виводу з можливістю налаштування напрямку передачі даних і чотири вбудованих 10-ти розрядних АЦП. Для управління модулем передбачений набір текстових команд управління.

Модуль не вимагає під'єднання додаткових елементів і відразу готовий до роботи. Всі налаштування зберігаються в енергонезалежній пам'яті модуля.

Динамічний діапазон напруг вхідного аналогового сигналу для АЦП складає від нуля до п'яти вольт. Модуль передбачає можливість живлення як від шини USB так і від зовнішнього джерела живлення. Модуль підтримує ОС Windows 2000, 2003, XP 32/64 bit, Vista 32/64 bit і Windows 7 32/64 bit, OS Linux.

#### 4.6.2 Датчик координати і швидкості (GPS приймач)

При підборі основних технічних засобів збору та реєстрації параметрів АПК в якості датчика координати і швидкості для передачі відповідних параметрів руху до центрального системного блоку САВ будемо використовувати GPS приймач.

Сучасні системи GPS моніторингу транспортних засобів відслідковують місцезнаходження рухомих об'єктів з точністю до п'яти метрів в режимі “on-line” або “off-line”, а дані про рух, отримані в режимі реального часу за допомогою системи супутникового моніторингу, мають оперативний та достовірний характер.

Принцип роботи GPS приймача в САВ наступний. На локомотиві поїзда встановлюємо абонентське бортове обладнання, інформація з якого передається через мережу системи до центрального системного блоку управління. GPS приймач фіксує місцезнаходження, пройдений шлях, швидкість і напрям руху, час і місце зупинок. Центральний системний блок управління порівнює інформацію, отриману від GPS приймача, і ту, що закладена у базі даних маршруту, та видає керуючі команди.

Імпульсні оптичні датчики швидкості, що встановлюються на колісну пару, мають одну значну ваду – їх показання напряму залежать від діаметрального розміру колеса, а, отже, і від характеру зношеності бандажів колісних пар. Цей факт лише підтверджує необхідність використання GPS приймача і в якості датчика швидкості.

В даній магістерській дипломній роботі до впровадження приймаємо GPS приймач Garmin GPS 18.

До складу Garmin GPS 18 входить приймач з 12 паралельними каналами і функцією WAAS. Пристрій може мати комп'ютерний конектор або USB. Приймач, що включає в себе вбудовану магнітну основу, менше трьох дюймів у діаметрі. Приймач має швидкісний інтерфейс USB 2.0, а також сумісний зі

					0032.160171.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		78

швидкісними пристроями USB 3.0. Живиться приймач через порт USB комп'ютера.

Загальний вигляд GPS приймача Garmin GPS 18 наведено на рис. 4.8.



Рисунок 4.8 – Загальний вигляд GPS приймача Garmin GPS 18

Для коригування місцезнаходження поїзда на ділянці з точністю до  $\pm 1$  м слугує блок обміну інформацією зі стаціонарними колійними об'єктами.

GPS приймач розміщуємо у кабіні машиніста.

#### ***4.6.3 Обмін інформацією зі стаціонарними колійними об'єктами***

Як відомо, сучасні пристрої GPS моніторингу забезпечують точність позиціонування об'єкта з похибкою  $\pm 10$  м. Для більш точного визначення місцезнаходження поїзда під час руху на заданій ділянці пропонуємо у склад САВ включити блок обміну інформацією зі стаціонарними колійними об'єктами, що дозволить коригувати дані про місцезнаходження поїзда з точністю до 1 м. Принцип роботи системи напряду пов'язаний із функціонуванням АЛСН на кодованих ділянках з автоблокуванням. Елементи системи обміну інформацією включаються в схему роботи поїзної частини АЛСН.

При в'їзді ТРС на блок-ділянку першою колісною парою замикається рейкове коло і автоматично починає працювати шляховий трансмітер. Протікання в рейках імпульсів змінного струму частотою 50 Гц супроводжується виникненням навколо рейок змінного магнітного поля в якому переміщуються

					<i>0032.160171.000.03MP.ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		79



прийнятий центральним системним блоком управління САВ за остаточний.

#### 4.6.4 Датчики струму і напруги силових кіл

В якості датчика напруги ТЕД використовуємо електронний датчик MSV100-950-0101 компанії “NIEAF-SMITT BV”. Він має високу гальванічну ізоляцію між входом і виходом. Діапазон робочих температур датчика складає від мінус 25 до плюс 70°C, первинний опір – 250 КОм, опір вторинної котушки –  $60 \pm 7\%$  Ом. Загальний вигляд датчика приведено на рис. 4.10.



Рисунок 4.10 – Загальний вигляд датчика напруги MSV100-950-0101

#### Електричні характеристики датчика

Номінальна первинна напруга, В .....	950
Вимірюваний діапазон первинної напруги, В .....	$\pm 1400$
Максимальна напруга виходу, В .....	220
Номінальний вторинний струм, мА .....	50
Коефіцієнт перетворення .....	1000В/50мА
Споживання струму, мА .....	33
Діелектрична міцність між первинним та вторинним колами, кВ .....	6

В якості датчика напруги генератора пропонуємо використовувати електронні датчики серій VS та EM компанії “ABB”. Вони призначені для

вимірювання напруги в діапазоні від 50 до 1200 В.

Калібровані датчики напруги вже містять інтегрований резистор і вимірювана напруга може бути прикладена безпосередньо до вхідних контактів. Залежно від умов вхідний опір обирається таким чином, щоб забезпечити первинний струм 10 мА.

Загальний вигляд датчиків напруги компанії “ABB” приведено на рис. 4.11.



Рисунок 4.11 – Загальний вигляд датчиків напруги серій VS та EM

Для реєстрації величин струмів якоря і збудження ТЕД пропонуємо використовувати електронні датчики струму серій CS і EA компанії “ABB”, що призначені для вимірюванні струмів величиною від 50 до 1000 А. Вони відповідають всім нормам промислового та електротягового виконання. Датчики мають два струмові і два потенційні виходи. Конструкція повністю електронна і не має магнітопроводу. Принцип дії датчиків заснований на законі Ампера. Оскільки в датчиках немає магнітопроводу, вони набагато легші і зручніші в установці у порівнянні з пристроями інших типів.

Первинний провідник проходить крізь датчик. Кілька чутливих елементів на базі ефекту Холла створюють невелику напругу, пропорційну магнітному полю (2,5–5 В). Далі відбувається фільтрація сигналів в колах виключення впливу спотворень від живлячого кола та високочастотного обладнання. Потім ці сигнали посилюються, і напруга зростає до 12 В. На наступному етапі відбувається налаштування коефіцієнта підсилення. Останній етап включає в себе перетворення напруги в струм для струмових виходів.

Загальний вигляд датчиків струму компанії “ABB” приведено на рис. 4.12.

Відмова від стаціонарних датчиків струму та напруги силових кіл тепловоза спричинена необхідністю дотримання умов безпеки руху.

Датчики струму якоря, струму збудження ТЕД та напруги ТЕД розміщені в силовій схемі таким чином, щоб надавати до центрального системного блоку САВ інформацію про відповідні значення величин як в режимі тяги, так і в режимі реостатного гальмування.



Рисунок 4.12 – Загальний вигляд датчиків струму серій CS і EA

#### ***4.6.5 Датчик температури нагріву букс***

В якості датчика температури нагріву букс приймаємо датчик WS18 1-Wire. Він призначений для вимірювання температури в місцях кріплення датчика. Датчик являє собою термопару і підключається до приладу моніторингу по шині 1-Wire. Вихідний сигнал – аналоговий.

Кожен датчик має свій унікальний номер, що дозволяє паралельно підключати до приладу моніторингу декілька датчиків (стільки, скільки підтримує прилад моніторингу).

Конструкція датчика не розбірна, герметична, всепогодня.

Діапазон вимірюваної температури – від мінус 55°C до плюс 125°C, дискретність показань – 0,01°C, похибка вимірювань – 0,5°C. Довжина проводу

					0032.160171.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		83

датчика складає 5 м. Датчик розраховано на вхідну напругу від трьох до п'яти вольт.

Для взаємодії з датчиком слугує лише один контакт.

#### **4.6.6 Датчик температури зовнішнього повітря**

Для вимірювання температури різних середовищ і тіл в складі багатоканальних вимірювальних систем і автоматичних установок використовують перетворювач температури в частоту.

Новизною перетворювача є те, що з метою підвищення точності перетворення в нього введено джерело стабільного струму, а генератор імпульсів виконаний на аналізі керованого інжекційно-польового транзистора. Дільник напруги виконаний у вигляді двох резисторів. Другий затвор аналога керованого інжекційно-польового транзистора з'єднаний з виходом дільника напруги, одне плече якого з'єднане з плюсом джерела живлення, друге – з точкою з'єднання перших виводів джерела стабільного струму і терморезистора, інші ж виводи з'єднані відповідно з плюсом і мінусом джерела живлення.

В даній роботі для вимірювання температури зовнішнього повітря у складі САВ приймаємо перетворювач температури в частоту типу ЯЛБИ.405214.001.

#### **Технічні характеристики перетворювача типу ЯЛБИ.405214.001**

Діапазон вимірюваних температур, °С ..... 0 – 160  
Діапазон робочих температур, °С ..... мінус 40 – плюс 80  
Границі допустимої похибки в діапазоні, °С ..... ±1  
Додаткова похибка, викликана зміною  
напруги живлення, не перевищує, °С ..... ±0,05  
Амплітуда вихідного сигналу, В ..... 5 – 8  
Частота вихідного сигналу, Гц ..... 100 – 999

					<i>0032.160171.000.03MP.ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		84

Напруга живлення, В ..... 8 – 12  
Маса перетворювача, кг ..... 0,35  
Габаритні розміри, мм ..... 200x50x30

Датчик має вібростійке пиловодозахисне кліматичне виконання.

Для отримання САВ інформації про температуру зовнішнього повітря та, відповідно, про еквівалентний опір руху, датчик температури зовнішнього повітря встановлюємо в районі кабіни машиніста.

#### **4.6.7 Датчик прискорення, зміщення і частоти (акселерометр)**

Акселерометри – датчики, призначені для вимірювання прискорення, швидкості зміщення і частоти вібрації рухомого об'єкту і перетворення їх значень в електричний сигнал. Сигнали, пропорційні відповідним значенням, використовують для стабілізації й автоматичного управління рухомими об'єктами.

Акселерометр VM-6360 – мікропроцесорний прилад для вимірювання параметрів прискорення і вібрації. Він є малогабаритним та автономним.

Конструкція приладу забезпечує граничну простоту при проведенні вимірювань. Точність і роздільна здатність приладу дозволяють достовірно контролювати поточний технічний стан обладнання та перейти до обслуговування обладнання за фактичним станом.

#### **Технічні характеристики акселерометра VM-6360**

Тип датчика ..... п'єзоелектричний  
акселерометр

Діапазон вимірювань:  
прискорення, м/с<sup>2</sup> ..... 0,1– 200

					0032.160171.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		85

зміщення, мм .....	0,001 – 4
обертання, хв <sup>-1</sup> .....	60 – 10000
вібрація, Гц .....	10 – 1000
Похибка, % .....	±5
Струм живлення, А .....	1,5
Умови експлуатації:	
температурний діапазон, °С .....	мінус 35 – плюс 40
максимальна вологість, % .....	90

Датчик може бути розміщено на рамі візка, виходячи з мінімальності відстані до мережі САВ.

*Висновки.* Таким чином, запропонована система автоведення слугує для підвищення ефективності процесів управління рухом поїзда. Вона забезпечує необхідну точність виконання графіка руху за умови дотримання заданого рівня безпеки руху; мінімізує експлуатаційні витрати палива за максимально можливого використання пропускну здатності ліній та ділянок при роботі за критерієм обмеження тягових зусиль при реалізації прискорення 0,4 м/с<sup>2</sup>.

Забезпечення заданого рівня безпеки руху досягається за рахунок збільшення числа функцій управління, що реалізуються автоматично (наприклад, зниження швидкості перед перешкодою, прицільне гальмування і т.п.).

Забезпечення заданої точності виконання графіка руху, максимально можливого використання пропускну здатності ліній і ділянок за умови мінімізації енерговитрат на тягу досягається за рахунок використання таких основних факторів:

- 1) резерву часу, закладеного в графік руху;
- 2) автоматичної реалізації енергооптимальних програм ведення поїзда на основі розрахованих траєкторій руху;
- 3) оперативного перерахунку програми руху при відхиленнях реальної траєкторії від базової на величину, більшу від допустимої. Нова траєкторія оптимізується енергетично за умови виконання планового графіка руху.

					0032.160171.000.03МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		86

## ВИСНОВКИ

При розробці магістерської дипломної роботи на тему «Удосконалення режимів ведення пасажирських поїздів тепловозами» ми провели детальний аналіз впливу різних факторів на тягу поїздів. Складено програму оптимізації режимів ведення поїздів, а також проведено тягові розрахунки за класичним методом з використанням оптимізації окремих параметрів руху.

При аналізі розв'язання рівняння руху поїзда визначено, що оптимальним режимом руху поїзда є режим з трапецеїдальною залежністю швидкості від часу. Але в процесі ручного управління поїздами з тепловозною тягою великі витрати палива обумовлені тим, що машиніст керує поїздом довільно, орієнтуючись лише на сигнали сигналізації й витримуючи приблизний час проходу станцій. При цьому машиніст обирає такі режими роботи електротягових пристроїв, які забезпечують, насамперед, безпеку та заданий графік руху. Економічність обраного режиму за рівнем енергоспоживання в процесі ручного управління не враховується. Наслідком такого поширеного методу ведення поїздів, є істотна перевитрата дизельного палива, а найбільшими факторами впливу на неї є відстань між зупиночними пунктами і технічна швидкість. Величина ж питомої витрати палива є величиною випадковою.

При удосконаленні режимів ведення пасажирських поїздів визначено переваги систем раціонального ведення. Удосконалено математичну модель розв'язання рівняння руху поїзда, яку адаптовано для оптимізації параметрів руху поїздів. Визначено, що при експлуатації поїздів необхідний великий запас сили тяги, яка може створювати значне прискорення. При огляді факторів безпеки визначено раціональне значення прискорення та визначено відповідні залежності керування локомотивом поїзда певної маси для його реалізації. За порівнянням результатів можна стверджувати, що при обмеженні прискорення технічна швидкість майже не зазнає змін, а витрати дизельного палива зменшуються до 4%. На підставі цих даних проведено економічне обґрунтування впровадження системи автоматичного ведення з реалізацією функції обмеження прискорення.

					0032.160171.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		87

Сучасні програмно-апаратні комплекси систем автоведення замість тягового розрахунку формують криві залежностей швидкості від шляху на основі типових функцій, які одержують сполученням прямих та експоненціальних ділянок, дотримуючись при цьому критерію мінімуму енерговитрат або оптимізації графіка руху.

Особливостями ж запропонованої до розробки систем автоведення є:

- удосконалений принцип роботи та взаємодії апаратури та елементів системи, що дозволяє охопити більш значний ряд факторів впливу на рух поїзда за більш точного врахування положення поїзда на ділянці;
- мінімізація витрат палива на розгін і найбільш повне використання кінетичної енергії поїзда з урахуванням багатьох факторів поїзної ситуації та енергооптимального алгоритму роботи апаратно-програмного комплексу;
- більша кількість параметрів, що реєструються.

					<i>0032.160171.000.03MP.ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		88

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- 1 Бабичков А.М. Тяга поездов и тяговые расчёты / А. М. Бабичков, П.А. Гурский, А.П. Новиков.– М.: Транспорт, 1971. – 280 с.
- 2 Фуфрянский М.А. Подвижной состав и тяга поездов / М.А. Фуфрянский, В.В. Деев.– М.: Транспорт, 1979. – 368 с.
- 3 Деев В.В., Ильин Г.А., Афонин Г.С. Тяга поездов: Учебное пособие, для вузов /Под ред. В.В. Деева. – М.: Транспорт, 1987. – 264 с.
- 4 Правила тяговых расчётов для поездной работы / П.Т. Гребенюк, А.Н. Долганов, О.А. Некрасов, П.П. Стромский, Т.С. Чукова; ВНИИЖТ. – М.: Транспорт, 1985. – 287 с.
- 5 Теорія та конструкція локомотивів. Екіпажна частина: Підручник для ВНЗ залізнич. трансп. / Під ред. д-ра техн. наук, проф. Б.Є. Боднара. – Д.: ПП «Ліра ЛТД», 2008. – 287 с.
- 6 Теорія та конструкція локомотивів. Основи проектування: Підручник для ВНЗ залізнич. трансп. / Під ред. д-ра техн. наук, проф. Б. Є. Боднара. – Д.: ПП «Ліра ЛТД», 2010. – 360 с.
- 7 Крылов В.И. Автоматические тормоза подвижного состава: учебник для учащихся техникумов ж.-д. трансп. / В.И. Крылов, В.В. Крылов. – М.: Транспорт, 1983. – 360 с.
- 8 Долгий Г.В. Сопrotивление движению поезда: [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: [http://www.vagoni-jd.ru/razdel\\_06%20soprotivlenie.php](http://www.vagoni-jd.ru/razdel_06%20soprotivlenie.php).
- 9 Теорія локомотивної тяги. Технічне обслуговування транспортних засобів: методичні вказівки до виконання курсової роботи / Д.В. Бобирь, М.І. Капіца, О.М. Гончаров, В.Н. Сердюк; Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. – Д.: ДНУЗТ, 2003. – 62 с.
- 10 Касимов А.М. Автоматизированные системы управления для железнодорожного транспорта: [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: [http://www.avpt.ru/files/catalogue\\_rus\\_2011.pdf](http://www.avpt.ru/files/catalogue_rus_2011.pdf).
- 11 Толстов Е.М. Системы автоматического ведения поезда: [Электрон.

					0032.160171.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		89

ресурс]. – Режим доступа: <http://www.cta.ru/cms/f/366689.pdf>.

12 Федоренко В.В. Система автоведения поезда: [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: <http://www.avpt.ru/usavr>.

13 Хасин Л.Ф. Экономика, организация и управление локомотивным хозяйством: учебник для техникумов и колледжей ж.-д. трансп. /Л.Ф. Хасин, В.Н. Матвеев. – М.: Желдориздат, 2002. – 452с.

					<i>0032.160171.000.03MP.ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		90

## РЕФЕРАТ

Магістерська дипломна робота на тему «Удосконалення режимів ведення пасажирських поїздів тепловозами» загальним обсягом 6 листів демонстраційного матеріалу та 90 аркушів розрахунково-пояснювальної записки, яка складається з 4 розділів. Робота містить 25 ілюстрацій, 1 таблицю та список літературних джерел з 13 найменувань.

Об'єктом дослідження в магістерській дипломній роботі виступає процес переміщення поїзда. Предмет дослідження – тягові розрахунки. Мета – удосконалення режимів ведення поїздів.

При аналізі розв'язання рівняння руху поїзда визначено, що оптимальним режимом руху поїзда є режим з трапецеїдальною залежністю швидкості від часу. При удосконаленні режимів ведення пасажирських поїздів визначено переваги систем раціонального ведення. Удосконалено математичну модель розв'язання рівняння руху поїзда, яку адаптовано для оптимізації параметрів руху поїздів. Визначено, що при експлуатації поїздів необхідний великий запас сили тяги, яка може створювати значне прискорення. При огляді факторів безпеки визначено раціональне значення прискорення та визначено відповідні залежності керування локомотивом поїзда певної маси для його реалізації. За порівнянням результатів можна стверджувати, що при обмеженні прискорення технічна швидкість майже не зазнає змін, а витрати дизельного палива зменшуються до 4%. На підставі цих даних проведено економічне обґрунтування впровадження системи автоматичного ведення з реалізацією функції обмеження прискорення.

Ключовими словами в магістерській дипломній роботі виступають: РЕЖИМ ВЕДЕННЯ, АВТОМАТИЗАЦІЯ, ПРИСКОРЕННЯ, УДОСКОНАЛЕННЯ, ТЯГА ПОЇЗДІВ, РІВНЯННЯ РУХУ ПОЇЗДА, ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ, ПОЇЗДКА, МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ.

					0032.160171.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		4