

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Дніпровський національний університет залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна

Кафедра «Локомотиви»

«ДО ЗАХИСТУ»

Завідувач кафедри

М. І. Капіца

« _____ » _____ 2020 р.

ДИПЛОМНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня *«магістр»*

Галузь знань *27 Транспорт*

Спеціальність *273 Залізничний транспорт*

Освітньо-професійна програма *Локомотиви та локомотивне господарство*

Тема **РОЗРОБКА ПРОПОЗИЦІЙ ПО ЗНИЖЕННЮ ВИТРАТ
ЕНЕРГОРЕСУРСІВ ТЕПЛОВОЗАМИ ПРОМИСЛОВОГО
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ**

Theme **DEVELOPMENT OF PROPOSALS FOR REDUCTION OF ENERGY
RESOURCES COSTS BY DIESEL LOCOMOTIVES OF
INDUSTRIAL RAILWAY TRANSPORT**

Керівник дипломної
роботи

М. І. Капіца

Нормоконтролер

Л. В. Колодій

Студент групи ЛГ1926

А. О. Герасимов

Student

Gerasimov Artem

Дніпро, 2020

РЕФЕРАТ

Магістерська дипломна робота на тему «Розробка пропозицій по зниженню витрат енергоресурсів тепловозами промислового залізничного транспорту» загальним обсягом 6 листів демонстраційного матеріалу та 83 аркуші розрахунково-пояснювальної записки, яка складається з 4 розділів. Робота містить 22 ілюстрації, 5 таблиць, 1 додаток та список літературних джерел з 13 найменувань.

Об'єктом дослідження в магістерській дипломній роботі виступає процес прямування поїзда ділянкою, а метою – розробка пропозицій по зниженню витрат енергоресурсів на тягу під час руху поїзда ділянкою.

В роботі розглянуто системний підхід до вирішення задачі про управління рухом поїзда та виконано огляд та аналіз методів тягових розрахунків. Надано опис оптимальних траєкторій руху поїзда та визначено, що оптимальної траєкторії досягти на практиці неможливо. Надано порівняльну оцінку способів інтегрування рівняння руху поїзда та обрано для математичної моделі класичний спосіб розв'язання диференціального рівняння руху поїзда.

При розробці пропозицій по зниженню витрат енергоресурсів на тягу поїздів тепловозами промислового залізничного транспорту визначено функції оптимізації режимів ведення поїзда. Розглянуто критерії математичного моделювання та удосконалено математичну модель для оптимізації режимів ведення. Вирішено задачу тягових розрахунків для кар'єрного профілю, для якого характерні ухили великої величини. На математичній моделі поїзд проведено на різних позиціях контролера машиніста, визначено витрати енергоресурсів та час ходу поїзда. Розраховано функцію мінімізації витрат палива, яка залежить від початкової швидкості виходу на елемент ділянки та ухилу. З врахуванням складеної функції оптимізації витрату дизельного палива зменшено на 2-4%.

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

					0032.196373.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		4

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1 ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ ПИТАНЬ ТЯГОВИХ РОЗРАХУНКІВ З ОПТИМІЗАЦІЄЮ ПО ЗМЕНШЕННЮ ВИТРАТ ЕНЕРГОРЕСУРСІВ.....	9
1.1 Загальні відомості про тягові розрахунки	9
1.2 Задача про управління рухом поїзда і системний підхід до її вирішення	13
1.3 Основні поняття тягових розрахунків.....	14
1.4 Огляд методів тягових розрахунків	17
1.5 Огляд оптимальних траєкторій руху поїзда.....	19
1.6 Порівняльна оцінка способів інтегрування рівняння руху поїзда.....	22
2 РОЗРОБКА ПРОПОЗИЦІЙ ПО ЗНИЖЕННЮ ВИТРАТ ЕНЕРГОРЕСУРСІВ НА ТЯГУ ПОЇЗДІВ.....	26
2.1 Режими ведення поїзда.....	26
2.2 Визначення основних параметрів профілю колії	31
2.3 Визначення маси складу.....	33
2.4 Визначення параметрів локомотива та складу.....	33
2.5 Перевірка розрахункової маси складу на можливість надійного подолання короткого підйому крутизною більше розрахункового	34
2.6 Перевірка розрахованої маси складу на рушання на роздільних пунктах....	37
2.7 Перевірка маси складу по довжині приймально-відправних колій.....	38
2.8 Побудова діаграм питомих рівнодіючих сил	39
2.9 Рішення гальмівної задачі	41
2.10 Побудова кривих швидкості, часу ходу поїзда.....	44
2.11 Визначення технічної швидкості.....	48
2.12 Визначення витрат енергоресурсів локомотивом.....	48
2.13 Пропозиції по зниженню витрат енергоресурсів на тягу поїздів.....	50
3 РОЗРОБКА ТЕХНІЧНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ СИСТЕМИ ВИЗНАЧЕННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ РЕЖИМІВ ВЕДЕННЯ ПОЇЗДІВ	53
3.1 Загальні вимоги до апаратно-програмних комплексів.....	53

					<i>0032.196373.000.03MP.ПЗ</i>			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		<i>Герасимов</i>			<i>Розробка пропозицій по зниженню витрат енерго- ресурсів тепловозами промис- лового залізничного транспорту</i>	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.		<i>Капіца</i>				н	5	83
Реценз.						<i>ДНУЗТ, зр. ЛГ1926</i>		
Н. Контр.		<i>Колодій</i>						
Затверд.		<i>Капіца</i>						

3.2 Технічна реалізація апаратно-програмного комплексу	54
4 ЕКОНОМІЧНИЙ ЕФЕКТ ВІД ВИБОРУ РАЦІОНАЛЬНИХ РЕЖИМІВ	
ВЕДЕННЯ ПОЇЗДІВ	66
4.1 Ефект і ефективність. Особливі вимоги до аналізу	66
4.2 Визначення ефективності від впровадження раціональних режимів ведення поїздів	68
ВИСНОВКИ	74
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	76
ДОДАТОК А. Текст програми інтегрування рівняння руху поїзда	78

					<i>0032.196373.000.03MP.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

ВСТУП

Промисловий залізничний транспорт – транспортно-технологічний комплекс, який забезпечує системне переміщення вантажів у процесі виробництва (між виробництвами, виробничими циклами, окремими операціями або підприємствами в цілому) та взаємодію із залізничним транспортом загального користування і не належить до нього [1].

Промисловий залізничний транспорт входить до єдиної транспортної системи України, забезпечує виконання початково-кінцевих операцій з вагонами загального користування на залізничних станціях, що примикають до магістральних шляхів, переміщення вагонів, перевезення вантажів усередині підприємства у процесі виробництва, зокрема й у власному рухомому складі. Працівники промислового залізничного транспорту здійснюють обслуговування клієнтури, організовують вантажно-розвантажувальні операції з вагонами загального користування тощо. Для виконання визначених завдань підприємства мають локомотиви, вагони, залізничні колії, обладнання для забезпечення електронної централізації управління.

Транспортними засобами промислового залізничного транспорту щорічно виконуються значні за обсягом перевезення вантажів, безпосередньо обслуговується виробництво, забезпечуються всі початково-завершальні операції в транспортному процесі. Характерними ознаками таких перевезень — короткі відстані транспортування вантажів, невисокі показники швидкості.

Накопичені недоліки та труднощі в роботі промислового залізничного транспорту пов'язані із відсутністю в ринкових умовах державного впливу на його стан, координацію його роботи. На часі впровадження тісної взаємодії транспорту загального користування з промисловим залізничним транспортом на законодавчому, загально організаційному, тарифному рівнях, у визначенні технічної політики, вдосконаленні системи управління.

Промисловий залізничний транспорт є різновидом транспорту незагального користування, при цьому він об'єднує виробників різних регіонів держави за рахунок забезпечення доставки вантажів від магістрального транспорту до вантажовласників та навпаки. Тому у складі транспортного комплексу стійке

									Арк.
									7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	0032.196373.000.03MP.ПЗ				

функціонування системи підприємств промислового залізничного транспорту є суттєвим фактором формування надійної та гнучкої технології доставки вантажів та стабільного закріплення виробників та споживачів товарів.

Важливим кроком до забезпечення прибутковості і конкурентоспроможності підприємств промислового залізничного транспорту є формування на її основі цілісної структури з централізованим управлінням і відносною автономністю окремих підприємств. З точки зору системного підходу, організація такої структури дозволяє отримати додатковий загальносистемний ефект в умовах використання інформаційно-керуючих технологій на базі логістичних принципів. Тому виникає наукова задача формування гнучкої технології роботи підприємств промислового залізничного транспорту на основі і принципів логістики. В свою чергу, це викликає необхідність розробки та впровадження нових підходів до організації та управління вагомою структурою на залізничному транспорті незагального користування.

Основними задачами магістерської дипломної роботи є рішення задачі тягових розрахунків та надання відповідних пропозицій для зниження витрат енергоресурсів на тягу поїздів промислового залізничного транспорту.

					<i>0032.196373.000.03MP.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

1 ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ ПИТАНЬ ТЯГОВИХ РОЗРАХУНКІВ З ОПТИМІЗАЦІЄЮ ПО ЗМЕНШЕННЮ ВИТРАТ ЕНЕРГОРЕСУРСІВ

1.1 Загальні відомості про тягові розрахунки

Основним завданням теорії тяги є дослідження та розрахунок руху поїздів. У класичній механіці і в технічній кібернетиці також проводять розрахунки руху тіл і систем. Однак цілі і методи вирішення завдань цих трьох споріднених галузей знань мають не тільки спадкоємний зв'язок, а й деякі відмінності, які необхідно мати на увазі при розрахунку і дослідженні руху поїздів [2].

У класичній механіці вирішують два фундаментальні завдання: визначення руху, яке отримує механічна система під дією заданих сил; визначення сил, здатних повідомити системі заданий рух.

Визначити рух – значить визначити стан системи в поточному часу, що характеризується фазовими координатами. Механічну систему, форма і розміри якої несуттєві в рішенні даного завдання, називають матеріальною точкою або незмінною системою. Матеріальна точка має властивість маси без урахування структури тіла і є спрощеною моделлю для розрахунку механічного руху. Фазові координати матеріальної точки є положення її в тривимірному просторі і швидкість в кожен момент часу.

Зміни фазових координат в поточному часу описують звичайними диференціальними рівняннями. Якщо умовами задачі дано значення сили, маси системи і початкові умови – координати і швидкість на початку руху, то, проінтегрувавши диференціальне рівняння в формі задачі Коші, отримаємо закон руху системи.

Як очевидно, рух в класичній механіці розуміють у вузькому сенсі – як зміна положення системи в евклідовому просторі з плином часу. Такий нецілеспрямований рух, що здійснюється за відсутності управління з боку людини або автоматичного пристрою, називають природним рухом.

У технічній кібернетиці вивчають керовані рухи. Справа в тому, що для

					0032.196373.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

практичної діяльності людини становить інтерес не всякий, а тільки цілеспрямований рух. Будь-яка організована система завжди має мету, для досягнення якої вона створена. В такому випадку категорія мети руху має силу закону, і її треба враховувати в розрахунках керованого руху.

У поняття цілі входить прагнення до досягнення певного кінцевого стану системи або результату, якого треба досягти.

Прагнення до досягнення мети породжує необхідність управління рухом. У загальному випадку управлінням називають підбір впливів на систему, що забезпечує такий перехід її з одного стану в інший, при якому досягається поставлена мета. Обов'язковою умовою такого підбору є облік впливів зовнішнього середовища і станів системи, допустимих по стійкості і надійності роботи. На рис. 1.1 показана структурна схема перетворення керуючих впливів і, якими можуть бути сила тяги локомотива або гальмівна сила поїзда, параметри стану системи (швидкість, прискорення, пройдений шлях й т.і.) при зовнішніх збурюючих впливах z (опір руху поїзда). Рух системи полягає в тому, що під впливом вхідних впливів $u(t)$ і $z(t)$ відбуваються з плином часу t зміни вихідних координат системи $x(t)$ [3].

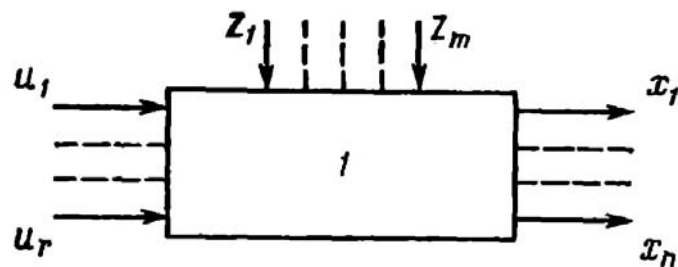


Рисунок 1.1 – Структурна схема перетворення керуючих впливів (u_1-u_r) у параметри стану (x_1-x_n) об'єкта управління 1 від зовнішніх впливів (z_1-z_m)

Якщо система складається з багатьох взаємодіючих елементів, процеси роботи яких підпорядковані закономірностям різної фізичної природи, то, на відміну від класичної механіки, повинні бути розширені поняття системи та її руху. У кібернетиці під системою прийнято розуміти сукупність взаємопов'язаних елементів, що взаємодіють у часі як єдине ціле. Великими (складними) називають

системи, що складаються з багатьох взаємопов'язаних елементів, що мають великий об'єм циркулюючої інформації, які відчують вплив зовнішнього середовища, випадкових чинників і керуючих впливів людей. Під рухом системи в широкому сенсі розуміють зміну стану системи: просторового переміщення, зміни теплових, струмових, витратних та інших параметрів, що представляють інтерес для дослідження поведінки системи. Зміна параметрів стану в поточному часу називають поведінкою системи.

В цьому випадку розширюється поняття фазових координат поїзда, під якими треба розуміти набір в кожен момент часу параметрів стану різної фізичної природи, істотних для передбачення руху. Такими параметрами зазвичай є: швидкість і координати поїзда на тяговій ділянці, струми навантажень тягових двигунів, напруга тягового генератора, температура нагріву обмоток електромашин, частота обертання дизеля, витрата палива, показники стійкості зчеплення коліс з рейками. Поведінка поїзда як керованої системи визначається:

- метою управління та технологією перевізного процесу;
- зовнішніми впливами;
- тяговими і гальмівні властивості рухомого складу, нормативними по ПТР;
- керуючими впливами з боку машиніста або системи автоведення поїзда.

Розрахунок і дослідження поведінки складних систем стали можливими завдяки цільовій постановці завдання про рух, системному підходу до її вирішення, подальшому розвитку методів моделювання, натурному експерименту та використанню сучасних методів прикладної математики [4].

В теорії керованого руху вирішуються два фундаментальних завдання – про керованість і про спостережливість. Рішення завдання про керованість зводиться до визначення керуючих сил, які можуть перевести систему з відомого початкового в кінцеве – заданий стан з урахуванням ресурсів системи і встановлених обмежень. Рішення завдання про спостережливість зводиться до визначення фазових координат стану системи за тими координатами, які доступні спостереженню на кожному кроці інтегрування диференціального рівняння руху.

Передбачення руху і параметрів стану, в тому числі обмежувальних, являє собою задачу про спостережливість. Метод спостереження та широко використовується в теорії тяги поїздів.

В теорії тяги поїздів вирішуються два фундаментальних завдання:

– знайти масу поїзда, яку локомотив відомої серії здатний перевезти на ділянці заданого профілю колії при дотриманні нормативних параметрів тяги і швидкості руху;

– для поїзда заданої маси знайти керований рух на заданій тяговій ділянці, яке забезпечило б досягнення поставленої мети при дотриманні нормативних і обмежувальних умов.

Моделювання є загальним методологічним прийомом досліджень і вирішення завдань класичної механіки, кібернетики і теорії тяги поїздів, що визначає спадкоємний зв'язок між ними. Їх відмінності визначаються фізичною природою явищ і процесів, призначенням систем, метою їх дослідження, наявністю початкової та поточної інформації, обмежувальними умовами, математичної формалізацією і необхідною точністю прогнозування.

У класичній механіці розглядають простий механічний рух; фазові координати визначаються швидкістю і положенням системи в кожен момент часу – отже, система двопараметрична; математична модель руху такої системи є диференціальне рівняння руху матеріальної точки; задані сили не залежать від часу і не є керованими, рух – природний; на систему діють тільки контактнo-механічні зв'язки, що визначають число ступенів свободи; поведінка системи підпорядкована закону збереження енергії і теорем класичної механіки.

В теорії керованого руху і теорії тяги поїздів розглядається рух в широкому сенсі; фазові координати стану системи в кожен момент часу визначаються багатьма параметрами; рух – керований; опис поведінки системи виконують кількома математичними моделями.

Перед тим, як приступити до розрахунку руху системи, необхідно чітко визначити цілі, постановку задачі, методи побудови і дослідження моделі руху. Незважаючи на те що технічна кібернетика створена набагато пізніше теорії тяги

									Арк.
									12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

0032.196373.000.03MP.ПЗ

поїздів, в принципах і підходах до вирішення завдань між ними можна знайти багато спільного. У зв'язку з тим що кібернетика утвердилася фундаментальною наукою про управління, значною мірою визначає науково-технічний прогрес, а управління рухом поїздів поступово стає складовою частиною автоматизованої системи управління залізничним транспортом [5].

1.2 Задача про управління рухом поїзда і системний підхід до її вирішення

Для розрахунку руху поїзда повинні бути задані маса складу, серія локомотива, гальмівні засоби, профіль колії, розташування станції на лінії. Потрібно визначити механічний рух і параметри стану рухомого складу, що забезпечують досягнення поставленої мети при дотриманні умов безпеки і надійності роботи локомотива [5].

З постановки задачі видно, що мова йде про керований рух складної системи, що переслідує певну мету. Для визначення мети і вибору методу розрахунків руху складних систем широко використовується так званий системний підхід, сутність якого полягає в тому, що для дослідження поведінки системи необхідно враховувати взаємозв'язок різних елементів системи. Взаємозв'язок повинен бути розглянутий не як проста механічна сукупність елементів, а як єдність їх взаємодій в досягненні мети. Отже, поїзд будемо розглядати не як автономну систему, а як ланку в системі залізниці, а його рух – як частина технологічного процесу перевезень. Відповідно до системного підходу мета руху поїзда повинна визначатися виходячи з цільової функції дороги, яка зводиться до забезпечення максимальної пропускної і провізної здатності залізниць шляхом збільшення маси і швидкості руху поїздів. Зрозуміло, управління рухом може переслідувати й інші завдання, але всі вони повинні вирішуватися в рамках основної мети. Цілі можна досягти шляхом управління станом і поведінкою системи. Таким чином, рух поїзда на відміну від природного руху є цілеспрямованим. Так як поїзд є елементом в системі залізниці, то управління його рухом підпорядковане цільової функції, технології перевезень і

					<i>0032.196373.000.03MP.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

Сила тяги локомотива – керована машиністом зовнішня сила, створювана локомотивними енергетичними установками при взаємодії ведучих 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) провідних коліс з рейками (обмеження сили тяги по зчепленню). Останнє обмеження, що має основне значення для залізничного транспорту, іноді 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 зчіпною вагою локомотива [2]:

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

де ψ – коефіцієнт зчеплення, який є аналогом коефіцієнта тертя ковзання.

Сили опору руху, існуючі об'єктивно, спрямовані в бік, протилежний напрямку руху поїзда, та перешкоджають йому, 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 коліс;
- тертя об повітря (аеродинамічний опір);
- розсіювання енергії при взаємодії коліс рухомого складу і рейок через деформації верхньої будови колії і 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.

					0032.196373.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

Друга складова сил опору руху в наземному, в т. ч. і рейковому транспорті, – 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 вантажних поїздів на крутих підйомах істотно перевищують величину основного опору. Тому крутизна (ухил) так званого розрахункового підйому служить головним параметром для встановлення можливого ваги складу вантажного поїзда.

Гальмівні сили – штучні сили, керовані машиністом та спрямовані в бік, протилежний руху поїзда, 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 тиску 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 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.

					<i>0032.196373.000.03MP.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

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 провідні 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 [5].

1.4 Огляд методів тягових розрахунків

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, графічний, числовий і 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 [5].

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

									Арк.
									17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

0032.196373.000.03MP.ПЗ

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 [5]:

- варіаційне числення;
- принцип максимуму Понтрягіна;
- 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 Понтрягіна, 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.

					0032.196373.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

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.

1.5 Огляд оптимальних траєкторій руху поїзда

Як було зазначено, при наявності обмежень по швидкості та прискоренню оптимальна траєкторія руху поїзда має вигляд трапеції (рис. 1.2) [3].

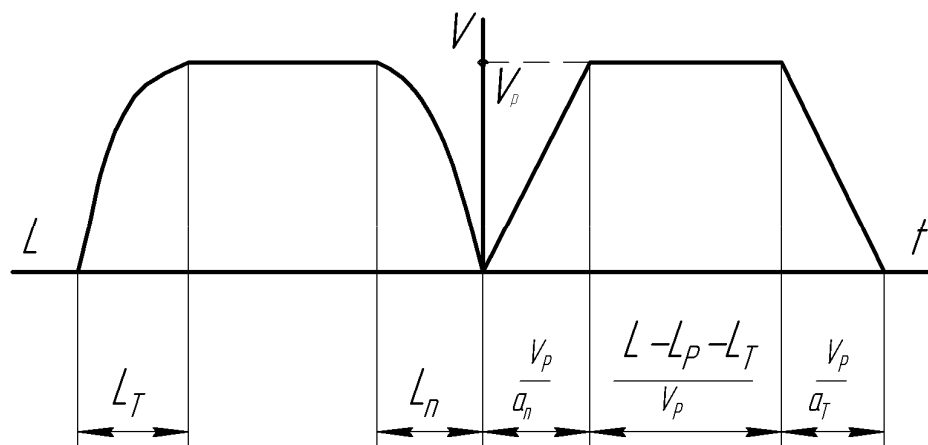


Рисунок 1.2 – Оптимальна траєкторія руху поїзда при наявності обмежень по прискоренню та швидкості

Оптимальну траєкторію руху можна охарактеризувати трьома фазами:

– розгін з постійним прискоренням a_n до швидкості обмеження V_p

$$T_n = \frac{V_p}{a_n}; \quad (1.2)$$

– рух з постійною швидкістю V_p та гальмування з постійним уповільненням a_m

$$T_m = \frac{V_p}{a_m}. \quad (1.3)$$

Позначивши довжину перегону як L , знайдемо час розгону, сповільнення і руху з постійною швидкістю:

$$T_{const} = \frac{L - L_n - L_m}{V_p}. \quad (1.4)$$

Трапецеїдальна крива руху визначає фізично можливий мінімум витрат енергоресурсів при заданій технічній швидкості та довжині перегону.

На практиці при виборі енергозберігаючих режимів руху поїзда відомий час ходу по перегону або технічна швидкість. Залежність між технічною швидкістю та швидкістю розгону описується виразом [3]:

$$V_m = V_p - V_p \frac{\frac{V_p}{a_n} + \frac{V_p}{a_m}}{2T}. \quad (1.5)$$

На рисунку 1.3 наведені залежності $V_m = f(V_p)$ для різних довжин перегону. Показником ефективності використання енергоресурсів є величина питомої витрати. На рисунку 1.4 наведені криві залежності питомої витрати електроенергії a від довжини перегону при різних технічних швидкостях для трапецеїдальної кривої руху. Наведені криві описуються виразом:

$$a = \frac{\alpha V_m}{L} + a_0, \quad (1.6)$$

						Арк.
					0032.196373.000.03MP.ПЗ	20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

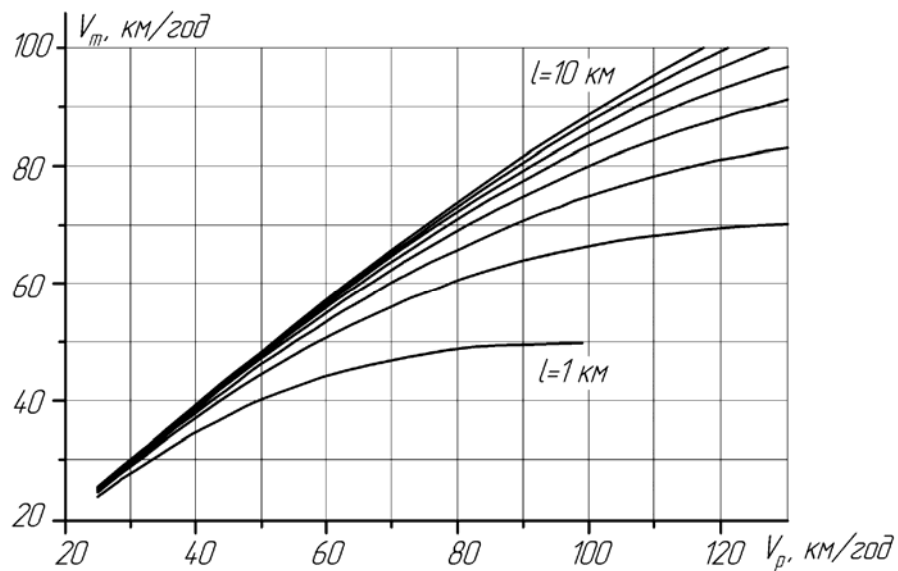


Рисунок 1.3 – Залежності $V_m = f(V_p)$ для різних довжин перегону

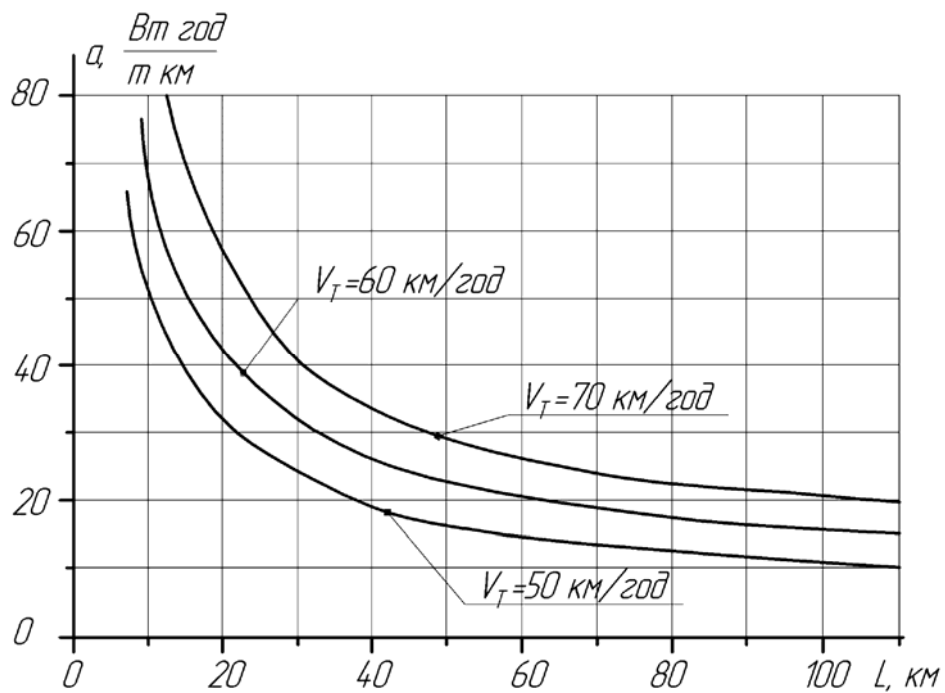


Рисунок 1.4 – Криві залежності питомої витрати електроенергії від довжини перегону при різних технічних швидкостях

де α – масштабний коефіцієнт, що дорівнює 1 Вт·год/(т·км);

– складова питомої витрати електроенергії, яка не залежить від довжини перегону.

$$a_0 = 28 - 1,01 \cdot V_m + 0,011 \cdot V_m^2 \quad (1.7)$$

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

0032.196373.000.03MP.ПЗ

Арк.

21

При існуючих системах тягового електроприводу точна реалізація трапецеїдального режиму неможлива.

Реальні характеристики тягового рухомого складу такі, що можна тільки наближатися до оптимального режиму. Ефективність енергозберігаючих режимів руху поїздів слід оцінювати по відношенню фактичного питомої витрати енергоресурсів до теоретично мінімальної для заданої технічної швидкості.

Отже, 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 мінімальною тяговою силою.

Економічність режимів руху поїзда слід оцінювати по відношенню до трапецеїдальної кривої руху, яка визначає фізично можливий мінімум витрати електроенергії. Трапецеїдальний режим руху поїзда є оптимальним з точки зору питомих витрат енергоресурсів 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.).

1.6 Порівняльна оцінка способів інтегрування рівняння руху поїзда

Як відомо, інтегрування рівняння руху поїзда можна проводити по [5]:

- шляху;
- швидкості;
- часу.

									Арк.
									22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	0032.196373.000.03МР.ПЗ				

Кожен спосіб має свої переваги і недоліки.

Правила тягових розрахунків рекомендують інтегрувати рівняння руху:

- по швидкості при розгоні до виходу на автоматичну характеристику;
- в режимі тяги, вибігу і гальмування – по шляху. Такий спосіб зручний при виконанні тягових розрахунків методом МПС;
- при використанні ЕОМ інтегрування рівняння руху поїзда в режимі тяги зручніше вести за швидкістю.

Для визначення часу ходу поїзда достатньо мати сімейство тягових характеристик. Але при вирішенні завдань енергооптимізації режимів руху поїзда необхідно на кожному кроці розрахунку знати величину струму, споживаного тяговими двигунами. Тому пропонується використовувати інтегрування рівняння руху в режимі тяги по струму тягового двигуна [5]. Цей спосіб полегшує вирішення задачі при русі поїзда на пускових позиціях.

Пройдений шлях на i -му кроці розрахунку:

$$\Delta S_i = \frac{V_{ni} + V_{ki}}{2} \cdot \Delta t_i, \quad (1.8)$$

де V_{ni}, V_{ki} – швидкість на початку та в кінці i -го кроку відповідно, км/год;

Δt_i – приріст часу на i -му кроці, хв.

Приріст часу визначається з рівняння руху поїзда:

$$\Delta t_i = \frac{\Delta V_i}{\zeta \left(f_{ki} + w_{oi} + b_i + i_{e(i-1)} - w_{r(i-1)} \right)}, \quad (1.9)$$

де $i_{e(i-1)}$ – еквівалентний ухил під поїздом на кроці $i-1$, ‰;

$w_{r(i-1)}$ – додатковий опір руху від кривих на кроці $i-1$, Н/кН.

ΔV_i – приріст швидкості на i -му кроці, км/год;

									Арк.
									23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	0032.196373.000.03МР.ПЗ				

f_{ki} – питома сила тяги на i -му кроці, приведена до ободу колеса, Н/кН;

w_{oi} – основний питомий опір руху на i -му кроці, Н/кН;

b_i – питома гальмівна сила на i -му кроці, Н/кН;

ζ – прискорення або уповільнення поїзда при питомій силі 1 кгс/т, м/с²;

Приріст швидкості визначається з другого закону Кірхгофа:

$$\Delta V_i = \frac{U_{\partial i} - I_{\partial i} \cdot r_{\partial}}{C\Phi_i} - V_H, \quad (1.10)$$

де $I_{\partial i} \cdot r_{\partial}$ – падіння напруги на активному опорі обмоток тягового двигуна, В;

$U_{\partial i}$ – напруга, що прикладається до тягового двигуна на i -му кроці, В;

$C\Phi_i$ – магнітний потік, відповідний струму $I_{\partial i}$, Вб.

З виразу (1.36) випливає, що при підході до режиму руху зі сталою швидкістю (сума сил, що діють на поїзд дорівнює нулю), $\Delta t \rightarrow \infty$, а, отже, $\Delta S \rightarrow \infty$ (1.35). Для виключення невизначеності слід, по-перше, зменшувати крок інтегрування, по-друге, при попаданні величини питомої прискорювальної сили в деякий інтервал

$$f_{y \min} < f_y < f_{y \max} \quad (1.11)$$

вважати рух сталим і виконувати інтегрування рівняння руху по шляху або часу. Величину інтервалу, всередині якого рух вважається сталим, слід вибирати виходячи з необхідної точності розрахунків.

У режимах вибігу та пневматичного гальмування рух поїзда описується відомими емпіричними залежностями основного питомого опору руху і коефіцієнта тертя гальмівних колодок. У довідковій літературі обидві ці залежності наведені у функції швидкості. Отже, за незалежну змінну при

					0032.196373.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

інтегруванні рівняння руху поїзда в несталих режимах вибігу і гальмування доцільно приймати швидкість руху. У режимі сталого руху інтегрування ведеться по шляху або часу. У тому випадку, якщо електропоїзд обладнаний системою рекуперативного або реостатного гальмування – завдання вирішується аналогічно режиму тяги.

Таким чином, інтегрування рівняння руху по струму тягових двигунів забезпечує можливість відстеження як переходів з характеристики на характеристику, так і сталого режиму [5].

					<i>0032.196373.000.03MP.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

2 РОЗРОБКА ПРОПОЗИЦІЙ ПО ЗНИЖЕННЮ ВИТРАТ ЕНЕРГОРЕСУРСІВ НА ТЯГУ ПОЇЗДІВ

2.1 Режими ведення поїзда

Окремі фази режиму ведення. Режим ведення поїзда складається з наступних фаз:

- пуск локомотива і розгін поїзда до виходу на обрану ходову характеристику локомотива;
- рух в тязі при включених тягових двигунах на ходових позиціях контролера машиніста;
- рух на вибігу при виключених тягових двигунах;
- регульовальне гальмування – пригальмовування поїзда на спусках для підтримки його швидкості на заданому рівні;
- гальмування для зниження швидкості перед сигналами і зупинками.

Кожен з цих елементів робить істотний вплив на результати використання потужності локомотивів та витрату палива на тягу поїздів.

Розглянемо окремі фази режиму водіння поїздів.

2.1.1 Пуск локомотива і розгін поїзда

Пуск і розгін важливо проводити якомога більш плавно, не допускаючи надто швидкого зростання сили тяги. Це необхідно для того, щоб не допустити розриву поїзда та боксування колісних пар локомотива. Зрушити вантажний поїзд з місця легше, якщо попередньо склад стиснути. Встановивши реверсивну рукоятку в положення «Вперед», машиніст потім переводить головну рукоятку з нульовою позиції, включає струм тягових двигунів, призводить локомотив у рух і розтягує склад, вибираючи зазори в його автозчепних пристроях. Якщо локомотив не має автоматичного пуску, поступово переводять рукоятку контролера машиніста на вищі позиції, витримуючи її на кожній з них приблизно 3 с, що необхідно для спрацювання електричних апаратів. Після того як головна

					0032.196373.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

частина поїзда прийде в рух, продовжують набирати позиції, дотримуючись при цьому вимоги, щоб струм тягових двигунів за амперметрі не перевищував значень пускового струму для тягового рухомого складу даної серії і був близький до максимального допустимого значення за умовами зчеплення. Для того щоб не відбулося розриву поїзда, подальший набір позицій контролера машиніста можна проводити після того, як весь поїзд разом з локомотивом прийде в рух. При тепловозній тязі після рушання поїзда з місця його розгін слід вести, реалізуючи велику силу тяги.

Розгін поїзда з великим пусковим струмом доцільний ще й тому, що дозволяє економити час і використовувати його запас для більш тривалого руху на вибігу та зниження швидкості перед гальмуваннями, а отже, дозволяє економити енергоресурси. При пуску важливо запобігти виникненню і розвитку боксування колісних пар, тому набір позицій рукояткою контролера в момент рушання вантажного поїзда, особливо в несприятливих по зчепленню умовах, зазвичай супроводжується імпульсною подачею невеликих порцій піску під колеса локомотива.

На тепловозах при пуску та рушання з місця в результаті набору позицій головної рукоятки контролера машиніста спрацьовують виконавчі механізми і збільшується подача палива в циліндри дизеля, відбувається ступінчасте регулювання частоти обертання колінчастого валу і потужності дизеля. Тому, щоб поліпшити робочий процес дизеля, важливо витримувати рукоятку контролера машиніста на кожній позиції приблизно 3 с.

2.1.2 Загальні вимоги про режим ведення поїзда по перегону

Локомотивна бригада повинна відмінно знати профіль і план колії, розташування сигналів та станцій. Це необхідно тому, що при русі поїзда по елементах профілю склад може переходити з розтягнутого в стиснений стан і назад, при цьому у складі виникають значні динамічні сили. Додаткові динамічні навантаження виникають як у тяговому режимі, так і при русі на вибігу, а також в

					<i>0032.196373.000.03MP.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

зменшують. Підходячи до підйому, який не можна проїхати за рахунок використання кінетичної енергії, збільшують силу тяги, переводячи рукоятку контролера на вищі позиції або застосовуючи ослаблення збудження. При русі по ділянках з рівнинним профілем колії і відносно рідкісними зупинками необхідний режим ведення, що забезпечує найменші коливання швидкості при використанні позицій, відповідних найбільш високих значень ККД локомотива. Зменшення нерівномірності руху дає помітний ефект нелінійної залежності між силою опору руху і швидкістю руху. Зазвичай профіль ділянок залізничної мережі, на яких є обмеження у використанні потужності локомотивів по зчепленню, характеризується наявністю підйомів великої крутизни, але відносно невеликої протяжності. Тому при розробці та реалізації раціональних режимів ведення поїздів на таких ділянках дуже важливо поряд з реалізацією найбільших сил тяги забезпечувати максимальне використання кінетичної енергії рухомого поїзда.

Оскільки кінетична енергія пропорційна квадрату швидкості, при підході поїзда до важких елементів профілю швидкість повинна бути найбільшою допустимою, що дає можливість пройти частину підйому за рахунок накопиченої на попередніх елементах профілю кінетичної енергії поїзда. При русі по підйому швидкість падає у міру використання кінетичної енергії, струм тягових двигунів зростає, однак переходити на нижчі позиції слід тільки при досягненні струмом тягових двигунів, а отже, і силою тяги локомотива граничних значень.

Щоб запобігти боксуванню колісних пар, необхідно своєчасно подавати пісок в зону контакту коліс з рейками. Ефективність використання піску для стабілізації зчеплення залежить від багатьох факторів. Поряд з необхідністю освоєння усіма локомотивними бригадами способів ефективного управління пісочницею, своєчасної подачі піску з метою запобігання виникнення боксування колісних пар важливо забезпечити застосування високоякісного і належним чином підготовленого кварцового піску, правильну і систематичну регулювання форсунок пісочниць, справність і правильне положення труб, по яких подається пісок. Якщо після переходу на нижчі позиції ослаблення збудження тягових двигунів швидкість руху поїзда продовжує зменшуватися, слід перейти на повне

					<i>0032.196373.000.03MP.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

або нормальне збудження. Для тепловозів в подібних випадках допускається швидкість нижче розрахункової, проте рух поїзда в таких умовах допускається протягом не більше ніж **500 м**.

Часто елементи профілю колії з важкими підйомами чергуються з елементами профілю меншої крутизни. Останні слід використовувати для підвищення швидкості руху та накопичення кінетичної енергії. Для цього доцільно переходити на більш глибоке ослаблення збудження або високі позиції регулювання. Подібні умови руху наприкінці підйому можуть виявитися раціональними щодо економії палива в тому випадку, якщо після підйому розташована станція, на якій передбачена зупинка поїзда, або шкідливий спуск. Тоді зниження втрат енергії в гальмах при подальшому гальмуванні дозволить отримати деяку економію паливно-енергетичних ресурсів.

Викладені рекомендації найбільш ефективні при наявності підйомів порівняно невеликої протяжності.

З практики відомі випадки, коли застосування оптимальних режимів ведення поїздів, розроблених і уточнених при тягово-експлуатаційних випробуваннях, дозволило організувати стійке ведення поїздів, маса яких перевищує розрахункові значення. У ході таких випробувань встановлюють кращі режими ведення поїздів. Отримані результати, так само як і досвід роботи кращих машиністів, є основою для розробки раціональних режимів ведення поїздів, використовуються для навчання та інструктажу локомотивних бригад, розробки місцевих інструкцій з технології ведення поїздів. Місцеві інструкції для локомотивних бригад по раціональним режимам ведення поїздів повинні містити не тільки рекомендації, розроблені для певних умов, а й знайомити локомотивні бригади з основними принципами, якими слід керуватися для забезпечення максимального використання потужності локомотивів. Робота з навчання локомотивних бригад раціональним режимам ведення поїздів повинна включати в себе не тільки теоретичне навчання, а й практичний показ. Вельми корисний аналітичний розбір окремих поїздок із зазначенням допущених помилок. Не можна представляти рекомендований режим ведення поїзда в якості зводу правил

					<i>0032.196373.000.03MP.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

2.3 Визначення маси складу

Маса складу – один з найважливіших показників роботи залізничного транспорту. Збільшення маси складів дозволяє підвищити перевізну спроможність залізничних ліній, зменшити витрату пального і електричної енергії, знизити собівартість перевезень. Тому масу складу визначають, виходячи з повного використання тягових якостей локомотива [6].

Оскільки розрахунки виконуються для фактичних значень маси складу по ділянці Кар'єр – Розвантажувальна та планується провести розрахунки траєкторій руху на позиціях з 5 по 15, то масу складу приймаємо $Q=800$ т.

2.4 Визначення параметрів локомотива та складу

Для тепловоза 2ТЭ10М зазначимо наступні параметри:

- потужність локомотива $N = 2 \times 2206$ кВт;
- розрахункова дотична сила тяги $F_{dp} = 496$ кН;
- вага локомотива $P = 276$ т;
- розрахункова швидкість $V_p = 23,4$ км/год;
- конструкційна швидкість $V_k = 100$ км/год;

Визначаємо параметри вкладки з вагонів-думпкарів.

Величини ω_0' і ω_0'' визначають для розрахункової швидкості локомотива V_p . Питомі сили відносять до 1 кН ваги поїзда, складу, вагона, локомотива.

Основний питомий опір локомотива (Н/кН) підраховуємо за формулою

$$\omega_0' = 1,9 + 0,01 \cdot V + 0,0003 \cdot V^2, \quad (2.6)$$

$$\omega_0' = 1,9 + 0,01 \cdot 23,4 + 0,0003 \cdot 23,4^2 = 2,3 \text{ Н/кН.}$$

Основний питомий опір складу (Н/кН) визначаємо за формулою

					0032.196373.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

інтервалі швидкості $\Delta V \leq 10$ км/год і використовують розрахункове співвідношення [6]

$$S = \frac{4,17 \cdot (V_k^2 - V_n^2)}{f_{\text{дсер}} - \omega_{\text{осер}}}, \quad (2.10)$$

де V_n – швидкість на початку інтервалу швидкості ΔV ;

V_k – швидкість в кінці інтервалу швидкості ΔV .

Розрахунок пройденого шляху за формулою (2.10) ведуть до тих пір, поки кінцева швидкість останнього інтервалу не буде дорівнювати розрахунковій, тобто $V_k = V_p$.

Питому силу тяги $f_{\text{дсер}}$ і питомий опір $\omega_{\text{осер}}$ в межах вибраного інтервалу зміни швидкостей ΔV приймають рівними їхнім значенням при середній швидкості інтервалу, який розглядається:

$$V_{\text{сер}} = \frac{V_n + V_k}{2}. \quad (2.11)$$

Ці питомі сили вираховують за формулами в ньютонках:

$$f_{\text{дсер}} = \frac{F_{\text{дсер}}}{(P + Q) \cdot g}; \quad (2.12)$$

$$\omega_{\text{осер}} = \frac{(\omega'_{\text{осер}} + i_{\text{нер}}) \cdot P \cdot g + (\omega''_{\text{осер}} + i_{\text{нер}}) \cdot Q \cdot g}{(P + Q) \cdot g}. \quad (2.13)$$

Значення сили тяги локомотива $F_{\text{дсер}}$ для середньої швидкості $V_{\text{сер}}$ визначають за тяговою характеристикою локомотива. Для тієї ж середньої

										Арк.
										35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	0032.196373.000.03МР.ПЗ					

2.6 Перевірка розрахованої маси складу на рушення на роздільних пунктах

Така перевірка виконується за формулою [6]

$$Q_{зруш} = \frac{F_{\partial зруш}}{(\omega_{зруш} + i_{зруш}) \cdot g} - P_{сц}, \quad (2.14)$$

де $F_{\partial зруш}$ – сила тяги локомотива при рушанні складу з місця, H ;

$i_{зруш}$ – крутизна найбільш важкого елемента на роздільних пунктах заданої ділянки, ‰ (в напрямку руху), $i_{зруш} = 0\text{‰}$

$\omega_{зруш}$ – питомий опір поїзда при рушанні з місця, $H/кН$.

В нашому випадку $F_{\partial зруш} = 797000 H$.

Для вагонів на підшипниках кочення

$$\omega_{зруш}^{коч} = \frac{28}{q_0 + 7}. \quad (2.15)$$

Для вагонів на підшипниках ковзання

$$\omega_{зруш}^{ков} = \frac{142}{q_0 + 7}. \quad (2.16)$$

$$\omega_{зруш6} = \frac{28}{25,8 + 7} = 0,85 \text{ Н/кН};$$

$$\omega_{зруш} = 0,85 \cdot 1 = 0,85 \text{ Н/кН}.$$

За формулою (2.16) перевіримо масу складу на зрушення з місця:

					<i>0032.196373.000.03MP.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

$$Q_{зруш} = \frac{797000}{(0,85 + 0) \cdot 9,81} - 274 = 95306 \text{ т.}$$

Маса складу $Q_{зруш}$, отримана за умовами зрушення з місця, є більшою за розраховану масу складу $Q=800$ т, тобто $Q_{зруш} > Q$. Так як для перевірки маси складу на рушання з місця була вибрана станція, розташована на найбільш важкому елементі, отже, рушання складу з місця і розгін поїзда забезпечені на всіх роздільних пунктах дільниці.

2.7 Перевірка маси складу по довжині приймально-відправних колій

Щоб виконати перевірку маси складу по довжині приймально-відправних колій, визначаємо число вагонів у складі, довжину поїзда і співставляємо довжину з заданою довжиною приймально-відправних колій станцій [6].

Число вагонів у складі вантажного поїзда:

$$m_6 = \frac{Q}{q_6}. \quad (2.17)$$

$$m_6 = \frac{800}{155} = 5,16,$$

приймаємо $m_6 = 5$ вагонів.

Довжини 6-вісного думпкара складає 17,630 м. Довжина локомотива 2ТЭ10 складає 34 м. Загальна довжина поїзда дорівнює:

$$L_n = 17,63 \cdot m_6 + L_l + 10 \text{ м}, \quad (2.18)$$

де 10 м – запас довжини на неточність встановлення поїзда.

За формулою (2.18) розраховуємо довжину поїзда

$$L_n = 17,63 \cdot 5 + 34 + 10 = 132,15 \text{ м.}$$

					<i>0032.196373.000.03MP.ПЗ</i>	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Перевірка можливості встановлення поїзда на приймально-відправних коліях виконується за співвідношенням

$$L_n \leq L_{nвід}, \quad (2.19)$$

де $L_{nвід}$ – довжина приймально-відправних колій, м, $L_{nвід} = 300$ м.

Отже, співвідношення (2.19) виконується, тобто довжину поїзда зменшувати не потрібно.

2.8 Побудова діаграм питомих рівнодіючих сил

Для побудови діаграми питомих рівнодіючих сил попередньо складається таблиця за формою приведеною нижче для трьох режимів ведення поїзда по прямій горизонтальній ділянці [6]:

- для режиму тяги $f_g - \omega_0 = f_1(V)$;
- для режиму холостого ходу $\omega_{0х} = f_2(V)$;
- для режиму гальмування: при службовому регульовальному гальмуванні $\omega_{0х} + 0,5b_2 = f_3(V)$, при екстреному гальмуванні $\omega_{0х} + b_2 = f_4(V)$.

Таблиця заповнюється для швидкостей від 0 до конструкційної $V_{констр}$ через 10 км/год; крім цього, в цей стовпчик заносяться також величини швидкостей, що відповідають характерним точкам тягової характеристики заданого локомотива.

У таблицю заносяться значення сили тяги локомотива F_0 для вказаних в 1-му стовпчику швидкостей. Значення сили тяги визначаються за розрахунковою тяговою характеристикою локомотива. Швидкості $V = 0$ км/год (момент зрушення поїзда з місця) відповідає значення сили тяги $F_{дзруш}$.

Основний питомий опір локомотива на холостому ході (при русі без струму) розраховуємо за формулою:

									Арк.
									39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

0032.196373.000.03МР.ПЗ

$$\omega_x = 2,4 + 0,011V + 0,00035V^2. \quad (2.20)$$

Основний питомий опір всього поїзда (при слідуванні його по прямій горизонтальній колії) при русі локомотива на холостому ході (без струму) підраховують за формулою

$$\omega_{0x} = \frac{P\omega_x + Q\omega_0''}{P + Q}, \quad (2.21)$$

де P – розрахункова маса локомотива, m ;

Q – маса складу, m .

Величини ω_0' , ω_x , ω_0'' і ω_{0x} визначаються вказаним шляхом.

Питомі гальмівні сили поїзда (Н/кН) розраховують за формулою

$$b_2 = 1000\varphi_{кр}\varrho_p, \quad (2.22)$$

де $\varphi_{кр}$ – розрахунковий коефіцієнт тертя чавунних колодок о колесо:

$$\varphi_{кр} = 0,7 \cdot \frac{V + 100}{5V + 100}, \quad (2.23)$$

ϱ_p – розрахунковий гальмівний коефіцієнт складу,

$$\varrho_p = \frac{\sigma \sum k_p}{Q \cdot g} = \frac{\sigma \cdot (k_p n_6)}{Q \cdot g}, \quad (2.24)$$

де n_6 – число осей 6-вісних вагонів складу:

$$n_4 = 6 \cdot m_6; \quad (2.25)$$

					0032.196373.000.03MP.ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

k_{p6} – розрахункові сили натиснення гальмівних колодок відповідно на вісь 6-вісного вагона (при чавунних колодках $k_{p6} = 68,5$ кН/вісь);

σ – доля гальмівних осей в складі, $\sigma = 1$.

За формулою (2.24) визначаємо розрахунковий гальмівний коефіцієнт:

$$g_p = \frac{1 \cdot (68,5 \cdot 6 \cdot 5)}{800 \cdot 9,81} = 0,262.$$

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

- при службовому регульовальному гальмуванні $\omega_{0x} + 0,5b_2$;
- при екстремому гальмуванні $\omega_{0x} + b_2$.

Оскільки обчислення проведено з використанням символічного обчислення пакету Maple, то наводимо сплайн-інтерпольовану тягову характеристику тепловоза 2ТЭ10 на рис. 2.1 та діаграму питомих рівнодіючих сил ($Q = 800$ т) на рис. 2.2.

Для розрахунків прийнято дані на 5, 7, 9, 11, 13 та 15 позиціях контролера машиніста (ПКМ). При цьому на 15 ПКМ потужність тепловоза складає 100% [9].

2.9 Рішення гальмівної задачі

Перед тим, як приступити до побудови кривих швидкості і часу ходу поїзда по дільниці, необхідно вирішити гальмівну задачу, яка полягає в визначенні максимально допустимої швидкості руху поїзда по найбільше крутому спуску дільниці $i = -34\%$ при заданих гальмівних засобах і прийнятому гальмівному шляху. Цю задачу вирішуємо графічним способом [7].

Повний (розрахунковий) гальмівний шлях

$$S_2 = S_n + S_d, \quad (2.26)$$

					0032.196373.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

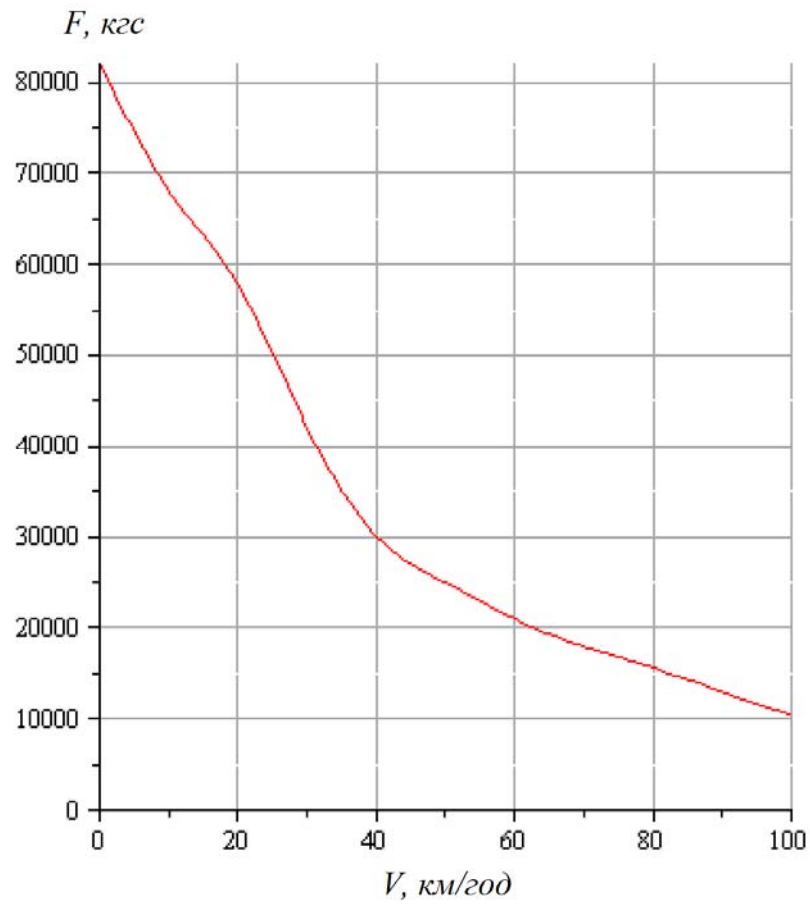


Рисунок 2.1 – Сплайн-інтерпольована тягова характеристика тепловоза 2ТЭ10 на 15 позиції контролера машиніста

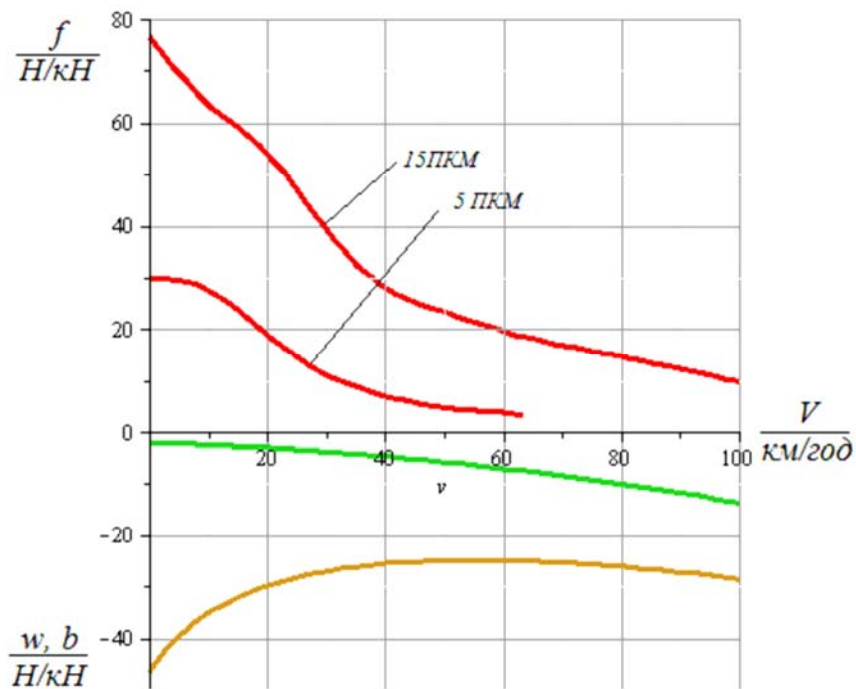


Рисунок 2.2 – Діаграма питомих рівнодіючих сил в діапазоні сили тяги від 5 до 15 позиції контролера машиніста

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

0032.196373.000.03MP.ПЗ

Арк.

42

$$S_n = 0,278 \cdot 100 \cdot 14,8 = 412 \text{ м.}$$

За допомогою математичної моделі визначаємо допустимі швидкості для кожного елемента (рис. 2.3) [5].

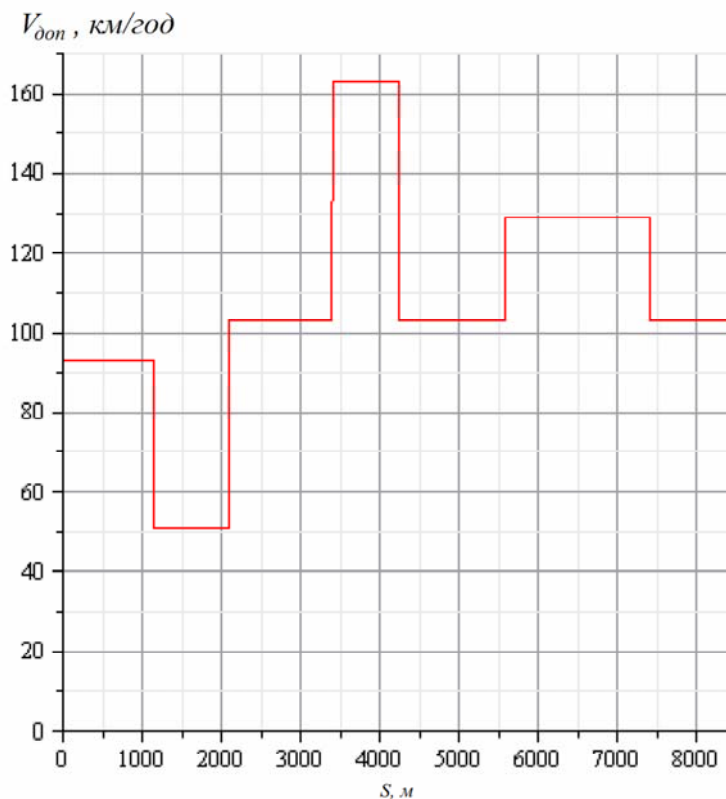


Рисунок 2.3 – Допустимі швидкості руху по ділянці

2.10 Побудова кривих швидкості, часу ходу поїзда

У відповідності з ПТР при виконанні тягових розрахунків поїзд розглядається як матеріальна точка, в якій зосереджена вся маса поїзда і до якої прикладені зовнішні сили, діючи на реальний об'єкт (поїзд). Умовно приймають, що ця матеріальна точка розташована в середині поїзда [2].

Крива швидкості будується для руху поїзда в одному напрямку, виходячи з того, що поїзд відправляється зі ст. Кар'єр, проходить без зупинки проміжні станції і робить зупинку на ст. Розвантажувальна.

За побудованою кривою швидкості варто перевірити проходження поїздом

					0032.196373.000.03MP.ПЗ	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

підйому більшої крутизни, ніж.

При побудові кривої необхідно врахувати обмеження найбільшої допустимої швидкості руху поїзда; в курсовій роботі варто приймати наступні обмеження:

- конструктивна швидкість вантажних вагонів 100 км/год ;
- найбільша допустима швидкість поїзда за міцністю колії 100 км/год ;
- конструктивна швидкість локомотива 100 км/год ;
- найбільша допустима швидкість поїзда, визначена гальмівними засобами, розрахована вище при розв'язуванні гальмівної задачі, рис. 2.3.

Якщо при побудові кривої швидкості поїзда на спусках швидкість намагається перевищити допустиму, то необхідно застосовувати службове регулювальне гальмування. В таких випадках рекомендується керуватися 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 ΔV .

При побудові кривої часу $t = f(S)$ варто мати на увазі, що ця крива зростаюча. Тому, щоб не мати справи з дуже великим листом паперу, при досягненні ординати, яка рівна 10 хв , криву часу варто обірвати, точку обриву знести по вертикалі вниз на вісь абсцис і продовжувати побудову кривої часу знову від нуля. Таким чином, крива часу через кожні 10 хв обривається.

Після точок перетину кривої $t = f(S)$ з осями роздільних пунктів записуються часи ходу поїзда між двома сусідніми роздільними пунктами (з точністю до $0,1 \text{ хв}$), а також загальний час ходу поїзда по дільниці.

При побудові кривої струму слід користуватись кривою швидкості і струмовою характеристикою $I_2 = f(V)$ генератора заданого локомотива.

В період зрушення з місця і розгону поїзда значення струму I_2 слід приймати у відповідності з обмеженнями по зчепленню або по пусковому струмові. Після виходу на автоматичну характеристику величина струму визначається по кривих $I_2 = f(V)$. Значення струму I_2 визначається для

					<i>0032.196373.000.03MP.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

швидкостей, які відповідають першій і кінцевій точкам кожного відрізка кривої $V = f(S)$.

Нанесені таким чином на графік точки з'єднуються прямими лініями, котрі і утворюють графічну залежність $I_2 = f(S)$.

В місцях виключення струму криву обривають і проводять вертикально вниз до нуля. Включання струму показується вертикальною лінією від нуля до значення струму, яке відповідає швидкості руху поїзда в даній точці шляху.

Оскільки метою магістерської дипломної роботи є розробка пропозицій по зменшенню витрат енергоресурсів, то будуюмо шість графіків з 5 по 15 ПКМ. Графіки побудови кривих швидкості, часу руху поїзда і струму зображені на рис. 2.4-2.9.

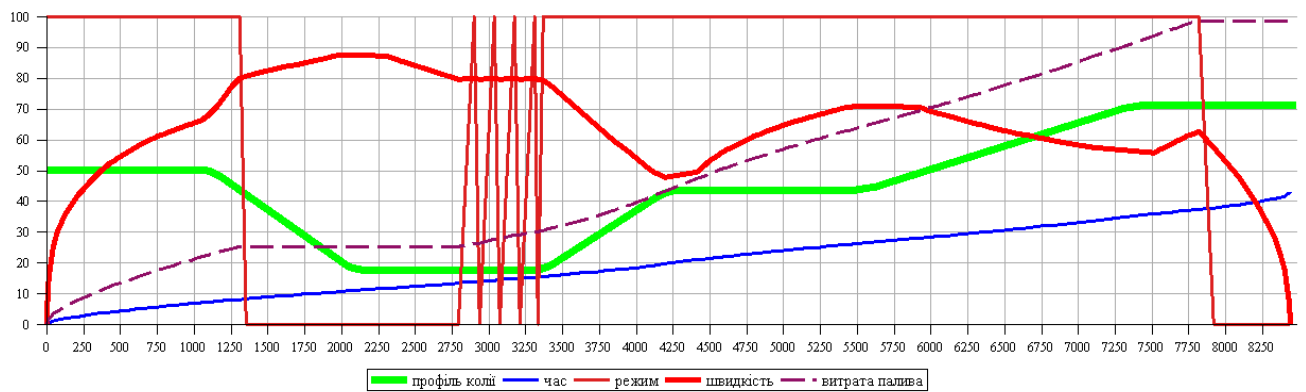


Рисунок 2.4 – Криві руху поїзда на 5 ПКМ

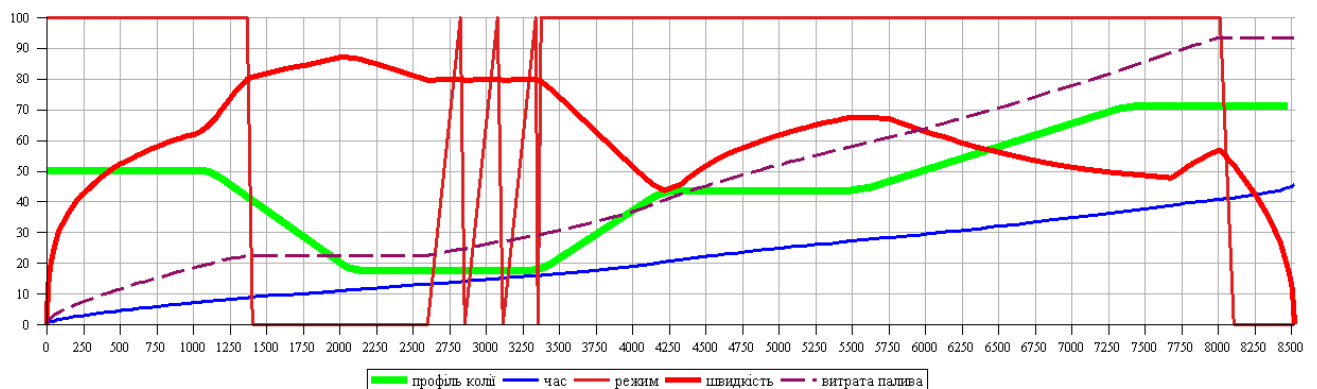


Рисунок 2.5 – Криві руху поїзда на 7 ПКМ

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

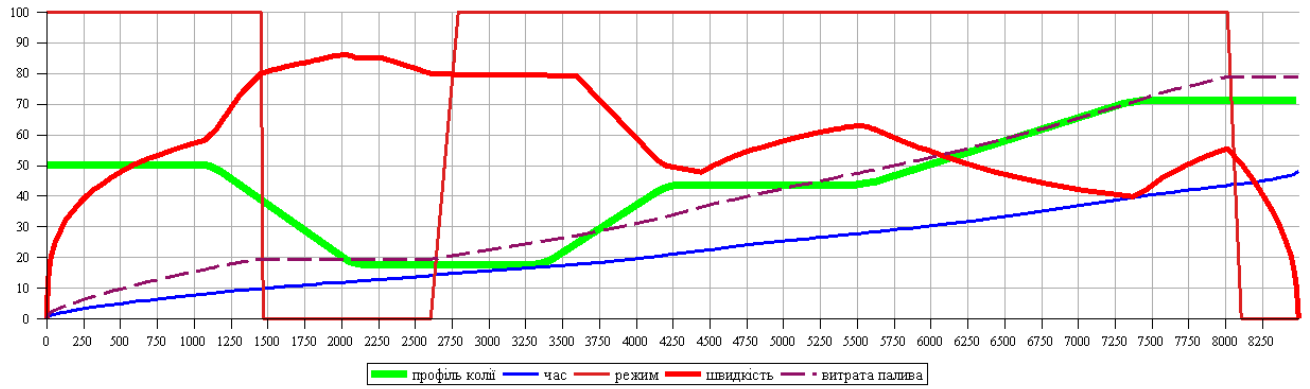


Рисунок 2.6 – Криві руху поїзда на 9 ПКМ

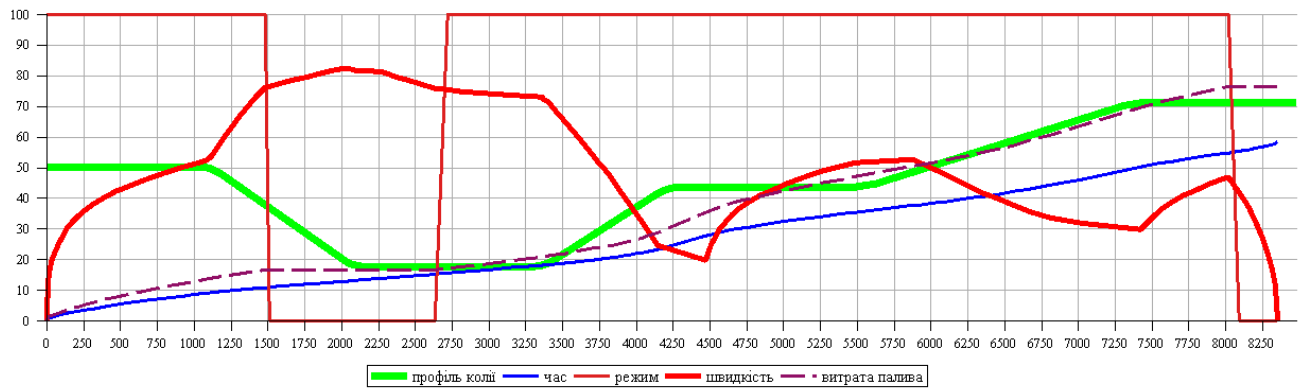


Рисунок 2.7 – Криві руху поїзда на 11 ПКМ

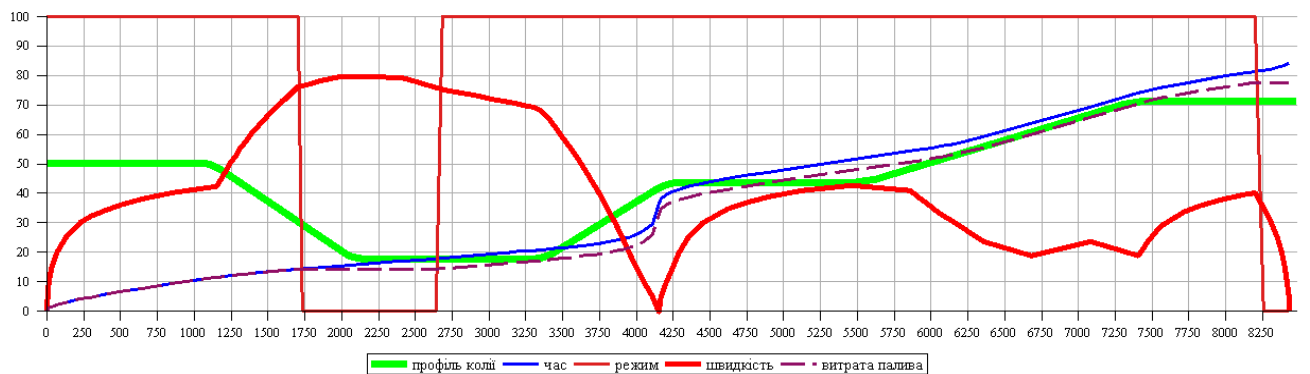


Рисунок 2.8 – Криві руху поїзда на 13 ПКМ

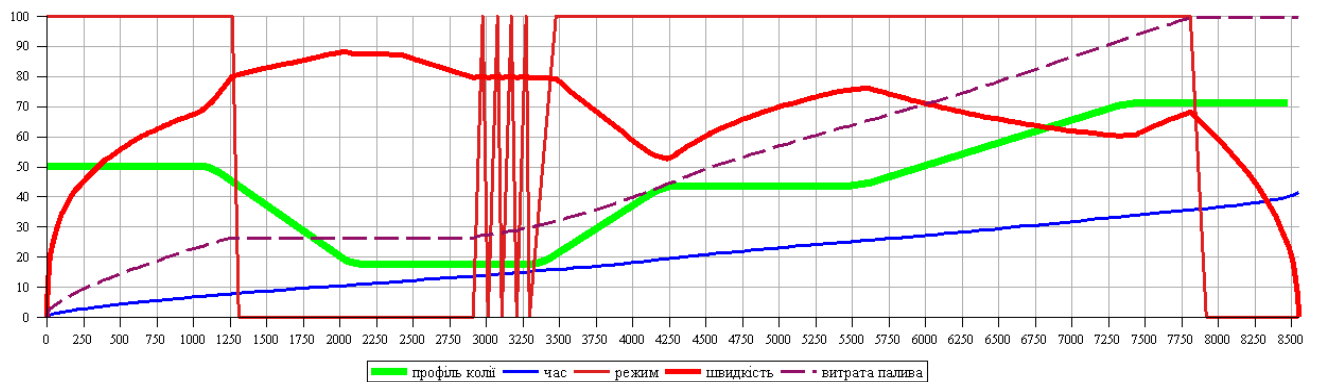


Рисунок 2.9 – Криві руху поїзда на 15 ПКМ

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

0032.196373.000.03MP.ПЗ

Арк.

47

2.11 Визначення технічної швидкості

Після побудови кривої часу визначається технічна швидкість поїзда V_T на ділянці [6].

Технічна швидкість руху поїзда по дільниці в км/год

$$V_T = \frac{L \cdot 60}{t_\Sigma}, \quad (2.29)$$

де t_Σ – час ходу поїзда по перегону заданої ділянки, год;

L – довжина дільниці, км (відстань між осями станцій заданої ділянки).

Наводимо окремо час руху поїзда для 5-15 ПКМ (табл. 2.2).

Таблиця 2.2 – Технічна швидкість при слідування на 5-15 ПКМ

Позиція контролера машиніста	Час ходу поїзда, хв	Технічна швидкість, км/год
5	16,81	31
7	11,70	43
9	9,63	53
11	9,13	57
13	8,55	60
15	8,31	62

2.12 Визначення витрат енергоресурсів локомотивом

Витрати дизельного пального тепловозом на заданій дільниці, кг, визначають за формулою [6]

$$E = G \cdot t_m + g_x \cdot t_x, \quad (2.30)$$

де G – витрата дизельного пального тепловозом на режимі тяги, що відповідає даному положенню ручки контролера, кг/хв [9];

t_T – сумарний час роботи тепловоза на режимі тяги, хв;

g_x – витрата пального тепловозом при вимкненому струмі (режимі холостого

$$e = \frac{97}{800 \cdot 8,481} \cdot 10^4 = 142,96 \text{ кг/10}^4 \text{ т км}$$

За даними депо для кар'єру при нормуванні питома витрата палива на вимірювач складає 292 кг/10⁴ т км, для ділянки 8,481 км та маси складу Q=800 т витрата складає 198 кг.

Бачимо, що розрахункові показники не є раціональними для ведення поїзда, оскільки економія витрати палива досягається лише на 5 та 7 позиціях контролера машиніста, але при цьому значно збільшується час руху поїзда.

2.13 Пропозиції по зниженню витрат енергоресурсів на тягу поїздів

Для визначення економічно обґрунтованого режиму ведення поїзда будемо суміжні діаграми витрати палива та часу ходу поїзда (рис. 2.10). Додатково наводимо профіль ділянки, щоб порівняти розраховані дані.

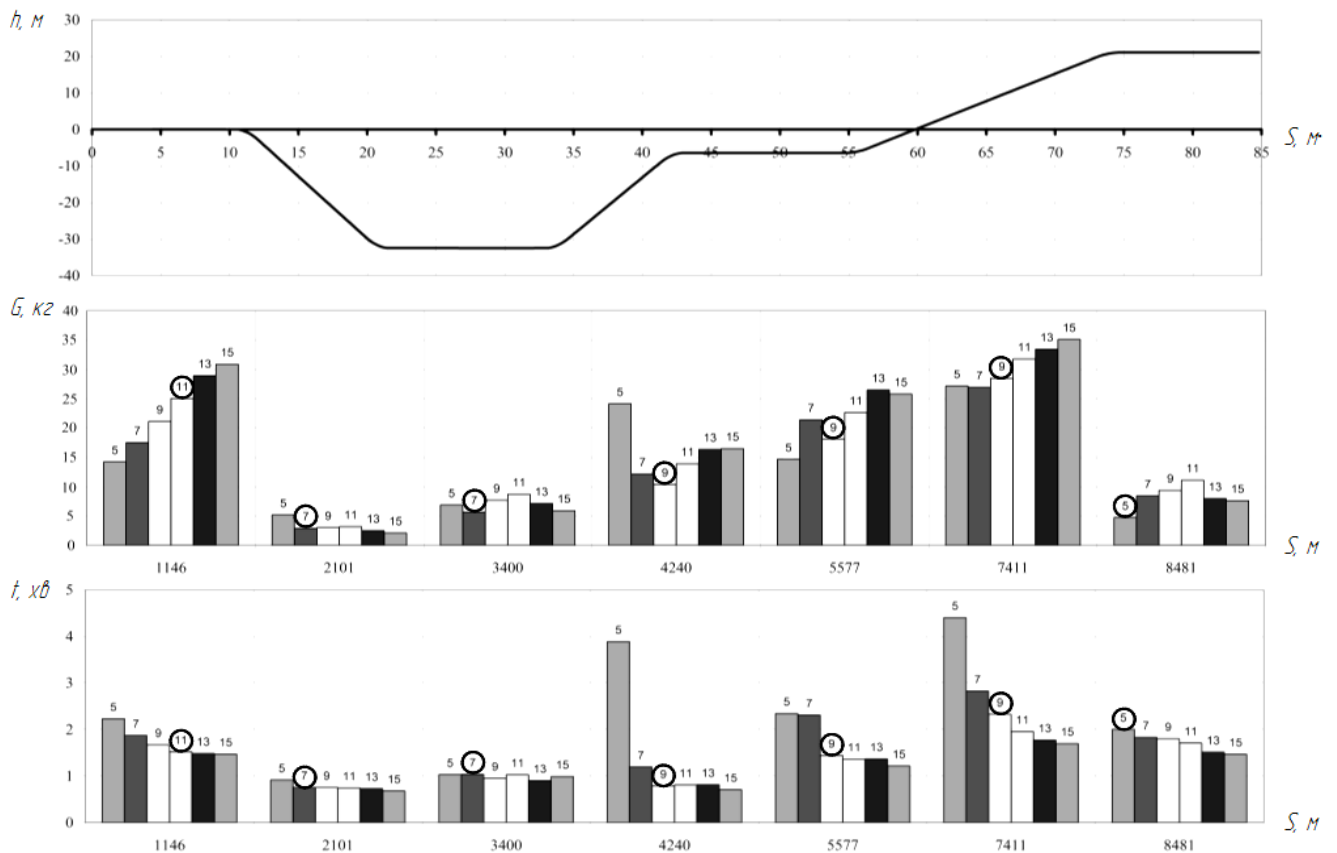


Рисунок 2.10 – Порівняння витрати палива та часу ходу поїзда

На отриманих діаграмах позначаємо стовпчики на кожному елементі, при яких витрата палива мінімальна з врахуванням мінімального часу ходу поїзда.

$$G = f(g \rightarrow \min, t \rightarrow \min). \quad (2.32)$$

Позначки наводимо у вигляді «O» та в математичну модель вносимо отримані дані.

Визначаємо витрату палива при врахуванні даних про раціональний режим. Отримана витрата палива складає 193,2 кг при часі ходу поїзда 9,87 хв.

Оскільки розрахунки дають змогу раціонально вести поїзд лише на даній ділянці, то розраховуємо функцію мінімізації по двох параметрах – швидкості та ухилу.

Для цього силу тяги, що відповідає 15 ПКМ приймаємо рівною 100%. 60% сили тяги відносимо до функції швидкості, 40% – відповідно функції ухилу. Порівнянням даних рис. 2.10 складаємо дискретні точки, який інтерполюємо

$$f^v = \begin{cases} 0.100000000 + 0.00011961722500000000 v + 0.00000595095693999999952 v^3 & v < 20 \\ 0.0047846890 + 0.00726076554999999930 v + 0.000357057416267942568 (20 + v)^2 - 0.00001100478468999999994 (20 + v)^3 & v < 40 \\ 0.0165071771 + 0.00833732057300000038 v - 0.000303229665071770301 (-40 + v)^2 + 0.00000681818181999999991 (-40 + v)^3 & v < 60 \\ 0.1866028708 + 0.00438995215299999974 v + 0.000105861244019138754 (-60 + v)^2 - 0.00000376794258299999996 (-60 + v)^3 & v < 80 \\ 0.2217703350 + 0.00410287081299999957 v - 0.000120215311004784697 (-80 + v)^2 + 0.00000200358851699999992 (-80 + v)^3 & otherwise \end{cases}$$

$$f^i = \begin{cases} -0.3810599101 + 0.000541145425700000028 u_{kl} + 3.46944695195361440 \cdot 10^{-19} (u_{kl} + 35)^2 - 0.00000541145425700000018 (u_{kl} + 35)^3 & u_{kl} < -25 \\ -0.4270572713 - 0.001082290851999999994 u_{kl} - 0.000162343627722572396 (u_{kl} + 25)^2 + 0.0000270572712900000016 (u_{kl} + 25)^3 & u_{kl} < -15 \\ -0.3431797303 + 0.003788017979999999986 u_{kl} + 0.000649374510890289256 (u_{kl} + 15)^2 - 0.000281395621400000018 (u_{kl} + 15)^3 & u_{kl} < -10 \\ -0.5082290852 - 0.0108229085200000006 u_{kl} - 0.00357155980989659096 (u_{kl} + 10)^2 + 0.001547228302999999998 (u_{kl} + 10)^3 & u_{kl} < -5 \\ -0.0024819196 + 0.0695036160799999970 u_{kl} + 0.0196368647286960728 (u_{kl} + 5)^2 + 0.000462705255700000015 (u_{kl} + 5)^3 & u_{kl} < -3.5 \\ 0.2603811478 + 0.1315374708000000000 u_{kl} + 0.0217190383842893846 (u_{kl} + 3.5)^2 - 0.0136811977900000004 (u_{kl} + 3.5)^3 & u_{kl} < -2 \\ 0.2086930016 + 0.1043465008000000005 u_{kl} - 0.0398463516658536036 (u_{kl} + 2)^2 + 0.006336550627000000036 (u_{kl} + 2)^3 & u_{kl} < 0 \\ 0.100000000000000004 + 0.0209997016799999998 u_{kl} - 0.00182704790772943030 u_{kl}^2 + 0.0000581008160299999977 u_{kl}^3 & u_{kl} < 15 \\ 0.1189052711 + 0.005406315256999999949 u_{kl} + 0.000787488812967188394 (u_{kl} - 15)^2 - 0.0000328120338700000022 (u_{kl} - 15)^3 & u_{kl} < 25 \\ 0.0171879660 + 0.0113124813599999995 u_{kl} - 0.000196872203241797072 (u_{kl} - 25)^2 + 0.00000656240677299999996 (u_{kl} - 25)^3 & otherwise \end{cases}$$

За отриманими функціями будемо графіки для наглядності (рис. 2.11 та 2.12).

При визначенні сили тяги на кожному кроці інтегрування рівняння руху поїзда сумуємо наведені функції та отримуємо відсоток сили тяги, який доцільно застосовувати для даного кроку інтегрування.

					0032.196373.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

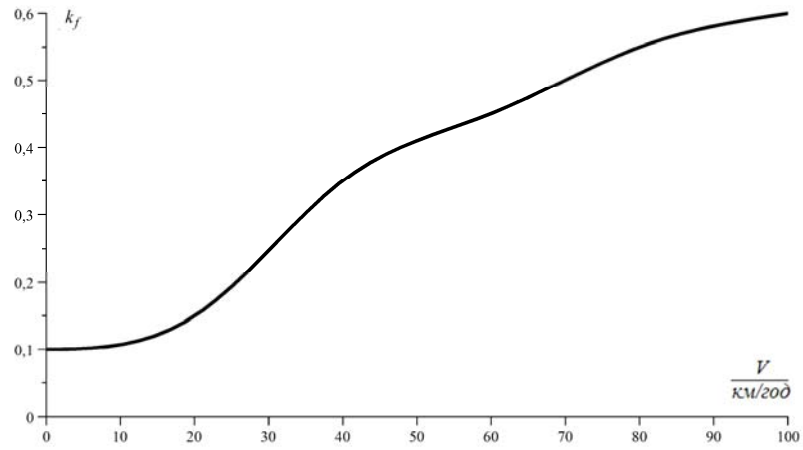


Рисунок 2.11 – Функція раціональності по швидкості

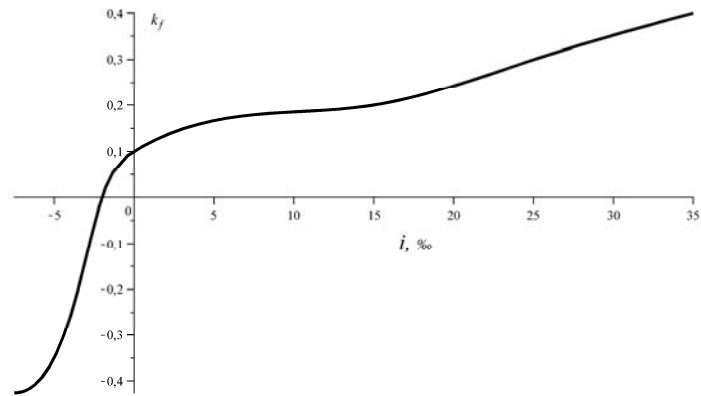


Рисунок 2.12 – Функція раціональності по ухилу

Текст програми наведено в додатку А.

3 РОЗРОБКА ТЕХНІЧНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ СИСТЕМИ ВИЗНАЧЕННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ РЕЖИМІВ ВЕДЕННЯ ПОЇЗДІВ

3.1 Загальні вимоги до апаратно-програмних комплексів

На підставі [11] 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;

					<i>0032.196373.000.03MP.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

б) математична модель повинна враховувати всі існуючі режими ведення 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 [11].

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.

3.2 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 [12].

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.

					<i>0032.196373.000.03MP.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

Серед технічних засобів, що будуть надавати АПК значення параметричних 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).

3.2.1 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.

									Арк.
									55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

0032.196373.000.03МР.ПЗ

комп'ютера.

Загальний вигляд GPS приймача Garmin GPS 18 наведено на рис. 3.2.



Рисунок 3.2 – Загальний вигляд GPS приймача Garmin GPS 18

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

GPS приймач розміщуємо у кабіні машиніста.

3.2.3 Обмін інформацією зі стаціонарними колійними об'єктами

Як відомо, сучасні пристрої GPS моніторингу забезпечують точність позиціонування об'єкта з похибкою ± 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 прийомні котушки ТРС, що підвішені перед першою колісною парою. Магнітні лінії цього поля, перетинаючи витки прийомних котушок, наводять в них е. р. с.

					0032.196373.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

0,8±0,05 В. Таким чином, під дією е. р. с. в прийомних котушках циркулює струм, що відповідає коду в рейках. З прийомних котушок струм поступає далі в поїзну частину АЛСН [12]. Принципова схема автоматичної локомотивної сигналізації приведена на рис. 3.3.

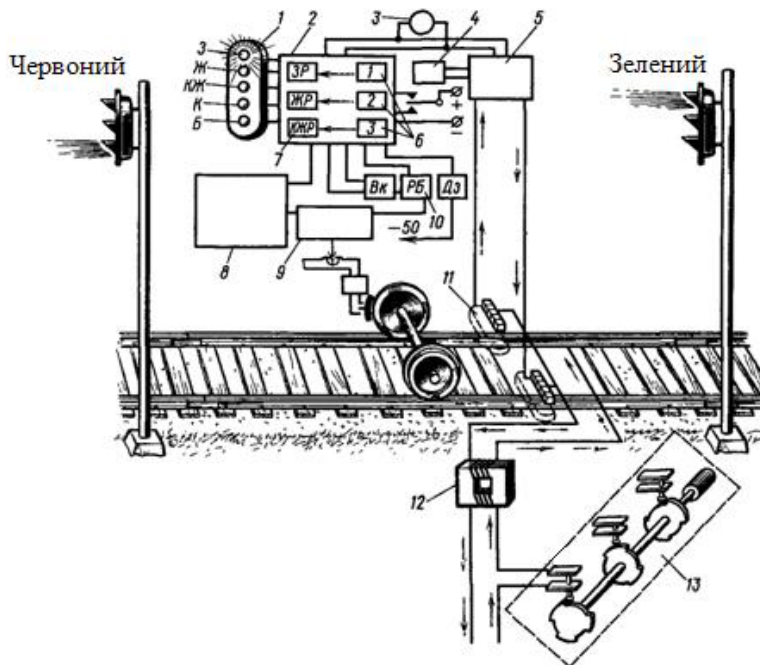


Рисунок 3.3 – Принципова схема автоматичної локомотивної сигналізації:

1– локомотивний світлофор; 2 – дешифратор; 3 – генератор струму управління; 4 – імпульсне реле; 5 – підсилювач; 6 – реле лічильників; 7 – сигнальні реле; 8 – локомотивний швидкостемір; 9 – електропневматичний клапан; 10 – рукоятка пильності; 11 – прийомні котушки; 12 – кодовий трансформатор; 13 – трансмітер

Таким чином, для реалізації коригування місцезнаходження поїзда на ділянці елементи блоку обміну інформацією САВ приєднуємо паралельно до електричного кола поїзної частини АЛСН. Електричне під'єднання виконуємо до провідників, що розміщуються між прийомними котушками та підсилювачем. Сигнал, отриманий внаслідок перетину блок-ділянки, буде надходити в центральний системний блок САВ для уточнення з сигналом від датчика координати і швидкості (GPS). Результуючий скоригований сигнал буде прийнятий центральним системним блоком управління САВ за остаточний.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

0032.196373.000.03МР.ПЗ

Арк.

59

3.2.4 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. 3.4.



Рисунок 3.4 – Загальний вигляд датчика напруги MSV100-950-0101

Електричні характеристики датчика

Номінальна первинна напруга, В	950
Вимірюваний діапазон первинної напруги, В	± 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

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 3.6 – Загальний вигляд датчиків струму серій CS і EA

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

					<i>0032.196373.000.03MP.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

Для взаємодії з датчиком слугує лише один контакт.

3.2.6 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
Напруга живлення, В	8 – 12
Маса перетворювача, кг	0,35
Габаритні розміри, мм	200x50x30

					0032.196373.000.03МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		63

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.

3.2.7 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, m/s^2 0,1– 200

зміщення, мм 0,001 – 4

обертання, $хв^{-1}$ 60 – 10000

вібрація, Гц 10 – 1000

Похибка, % ± 5

Струм живлення, А 1,5

					0032.196373.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

4 ЕКОНОМІЧНИЙ ЕФЕКТ ВІД ВИБОРУ РАЦІОНАЛЬНИХ РЕЖИМІВ ВЕДЕННЯ ПОЇЗДІВ

4.1 Ефект і ефективність. Особливі вимоги до аналізу

Ефект і ефективність. Ефект – абсолютний показник результату будь-якої дії чи діяльності. Він може бути як позитивним, так і негативним.

Ефективність – відносний показник результативності і може бути тільки позитивною величиною.

Розрахунок економічної ефективності рекомендується проводити шляхом порівняння витрат з економічним ефектом як грошовим виразом результату за формулою:

$$\text{Ефективність} = \frac{\text{Результат}}{\text{Витрати}} \cdot 100$$

Витрати (В) та результати (Р) можуть зіставлятися між собою різними способами, при цьому одержувані показники мають різний зміст, акцентуючи ту чи іншу сторону категорії «ефективність»:

- показник виду Р/В характеризує результат, отриманий з одиниці витрат;
- ставлення В/Р означає питому величину витрат, що припадають на одиницю досягається результату;
- різниця Р-В характеризує абсолютну величину перевищення результатів над витратами;
- показник Р-В/В дає оптимальну величину ефекту;
- показник Р-В/Р відображає питому величину ефекту, що припадає на одиницю отриманого результату.

В даний час використовуються різні терміни, по-своєму характеризують співвідношення результату з певними цільовими установками - результативність, доцільність, економічність, продуктивність, дієвість.

Ефективність - характеристика процесів і впливів суто управлінського характеру, що відображає перш за все ступінь досягнення переслідуваних цілей,

									Арк.
									66
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	0032.196373.000.03МР.ПЗ				

тому ефективністю володіє лише цілеспрямована взаємодія.

Під ефективністю також розуміють:

- певний конкретний результат (ефективність дії чого-небудь);
- відповідність результату або процесу максимально можливому, ідеальному або плановому;
- функціональна різноманітність систем;
- числову характеристику задовільності функціонування;
- ймовірність виконання цільових установок і функцій;
- ставлення реального ефекту до необхідного (нормативного) ефекту.

Ефективність характеризує в широкому сенсі якісну сторону розвитку суспільства. Її специфіка полягає в тому, що вона показує, за допомогою комбінації яких ресурсів отриманий кінцевий результат. У загальному вигляді ефективність виражається через співвідношення між результатами, отриманими в процесі виробництва, і витратами суспільної праці, пов'язаними з досягненням цих результатів. Сутність підвищення ефективності виробництва полягає у більш швидкому зростанні результату (ефекту) в порівнянні з витратами, внаслідок чого на одиницю ефекту припадає менше суспільної праці.

Критерій ефективності суспільного виробництва формулюється як досягнення максимуму ефекту з кожної одиниці затрат суспільної праці або мінімуму цих витрат на кожну одиницю ефекту.

Узагальнюючий показник ефективності, сконструйований на підставі даного критерію, однозначно оцінює ефективність в певний момент часу. У ньому мають бути враховані всі фактори, що впливають на ефективність виробництва, що забезпечує комплексну оцінку. Таким узагальнюючим показником може бути співвідношення продукції з повними витратами (поточними і капітальними), потрібні для її виробництва. Він використовується при визначенні ефективності як для народного господарства, так і його "окремих галузей, а також при визначенні ефективності капітальних вкладень і нової техніки.

Головними факторами підвищення економічної ефективності є науково-технічний прогрес, удосконалення техніки та технології виробництва,

					<i>0032.196373.000.03MP.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		67

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 – витрати на реконструкцію, модернізацію діючих та створення нових виробничих фондів. Капітальні вкладення, що направлені на розвиток локомотивного господарства, повинні бути використані ефективно. При визначенні ефективності капітальних вкладень розрізняють відносну (порівнювальну) і загальну (абсолютну) економічну ефективність [13].

Відносна (порівнювальна) 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.

4.2 Визначення ефективності від впровадження раціональних режимів ведення поїздів

При порівнянні варіантів розраховують строк окупності чи коефіцієнт ефективності додаткових капітальних вкладень, приведені витрати, продуктивність праці, собівартість перевезення, а також ряд натуральних кількісних і якісних показників. Розробка та впровадження САВ програмно-слідкуючого типу буде економічно виправданими, якщо витрати на розробку або придбання комплектів основного та допоміжного обладнання швидко окупляться за рахунок економії електроенергії. Вартість апаратної частини і програмного забезпечення САВ істотно залежать від вибору мікропроцесора та інших

									Арк.
									68
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	0032.196373.000.03МР.ПЗ				

електронних компонентів системи.

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

$$\text{ЧДД} = \sum \frac{P_i}{(1 + \gamma)^T} - IC > 0, \quad (4.1)$$

де P_i – середньорічна величина економії палива на ділянці, грн;

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

γ – норма дисконту, приймати рівною 18-20% [13];

IC – матеріальні витрати на впровадження нововведення, грн.

В нашому випадку внаслідок удосконалення режимів ведення поїзда частина зекономлених енерговитрат стає прибутком підприємства. Величину економії палива приймаємо згідно проведення розрахунків розділу 2-4% для кар'єру. Оскільки для інших кар'єрів та діляниць розрахунки не проводились, то загальну економію паливних ресурсів для розрахунків приймаємо 2%.

За даними депо річна продуктивність кар'єру складає 6941 тис т. Середня маса поїзда брутто по вивозу продукції з кар'єрів складає 1550 т. Довжина ділянки вивозу гірної маси складає 8,481 км.

Питомі норми витрати палива тепловозами серії 2ТЭ10 складає $w = 299 \text{ кг}/10^4 \text{ ткм}$ для кар'єру.

Визначаємо річну витрату дизельного палива на тягу поїздів по кар'єру.

Річна кількість рейсів

$$N_p = \frac{b_p}{Q_{сер}}, \quad (4.2)$$

					0032.196373.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		69

де b_p – річна продуктивність по масі, $b_p=6941$ тис т;

$Q_{сер}^{нетто}$ – середня маса поїзда нетто.

Середню масу поїзда нетто визначаємо з вантажопідйомності думпкара. Для думпкарів НКГЗК вантажопідйомність складає $q=105$ т. Кількість вагонів в складі – $m=10$ при використанні тепловоза серії 2ТЭ10.

$$Q_{сер}^{нетто} = q \cdot m; \quad (4.3)$$

$$Q_{сер}^{нетто} = 105 \cdot 10 = 1050 \text{ т.}$$

$$N_p = \frac{6941 \cdot 1000}{1050} = 6610 \text{ рейсів.}$$

Визначаємо роботу локомотивів на ділянці вивозу з кар'єру

$$\Sigma PL = Q_{сер}^{брутто} \cdot L \cdot N_p; \quad (4.4)$$

$$\Sigma PL = 1550 \cdot 8,481 \cdot 6610 = 8689 \cdot 10^4 \text{ ткм.}$$

Визначаємо витрату дизельного палива

$$W_{дн} = w \cdot \Sigma PL; \quad (4.5)$$

$$W_{дн} = \frac{299}{10^4} \cdot 8689 \cdot 10^4 = 2598011 \text{ кг або } 2598 \text{ т.}$$

Від витрати дизельного палива витрачаємо приблизну величину економії при оптовій вартості палива $c=7460$ грн/т.

					<i>0032.196373.000.03MP.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		70

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, $ГТС=22,64$ грн;

t – фактичний час роботи обслуговуючого персоналу, год. Час, необхідний для обладнання тепловоза бортовою САВ, складає 22 год. Розподілимо час виконання по одній зміні на день.

Заробітну плату обслуговуючого персоналу, грн, розраховуємо наступним чином:

$$B_{обл} = 2 \cdot 22,64 \cdot 22 = 1008 \text{ грн.}$$

Таким чином, маємо для одного тепловоза:

$$IC_1 = 5500 + 980 + 2 \cdot 1100 + 1250 + 3050 + 1008 = 13988 \text{ грн.}$$

Для тепловозів обслуговування кар'єру в кількості 16 од.

$$IC = 13988 \cdot 16 = 223808 \text{ грн.}$$

Отже, розраховуємо значення ЧДД:

$$ЧДД = \frac{387621,60}{(1 + 0,19)^1} - 223808 = 101924 \text{ грн.}$$

Отже, як видно з приведених розрахунків, чистий річний дохід з врахуванням знецінення грошових одиниць у часі склав 312 тис грн.

За тими ж показниками розрахуємо індекс рентабельності:

					0032.196373.000.03МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		72

$$PI = \sum \frac{P_i}{(1+\gamma)^T} / IC \geq 1, \quad (4.9)$$

$$PI = \frac{387621,60}{223808} = 1,73 > 1.$$

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

					0032.196373.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		73

ВИСНОВКИ

Основним завданням даної магістерської дипломної роботи є рішення задачі тягових розрахунків з врахуванням особливостей промислового транспорту та надання рекомендацій по зниженню витрат енергоресурсів. Ми провели детальний аналіз впливу різних факторів на тягу поїздів промислового транспорту. Складено програму оптимізації режимів ведення поїздів ВШМ, 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 і витримуючи приблизний час проходження станцій. При цьому машиніст обирає такі режими роботи дизельних та електротягових елементів тепловоза, 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 тягових розрахунків визначено переваги систем раціонального ведення. Удосконалено математичну модель рішення рівняння руху поїзда, яку адаптовано для оптимізації параметрів руху поїздів промислового транспорту. Визначено, що при експлуатації необхідний великий запас сили тяги, яка може створювати значне прискорення.

Вирішено задачу тягових розрахунків для кар'єрного профілю, для якого характерні ухили великої величини. Для розрахункового профілю найбільший ухил складає 34‰ при довжині ділянки 8,4 км. На математичній моделі поїзд проведено на позиціях контролера машиніста з 5 по 15, визначено витрати

					<i>0032.196373.000.03MP.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		74

енергоресурсів та час ходу поїзда. Розраховано функцію мінімізації витрат палива, що залежить від початкової швидкості виходу на елемент ділянки та ухилу. З врахуванням складеної функції оптимізації витрату дизельного палива зменшено на 2-4%.

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 САВ 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 врахуванням багатьох факторів поїзної ситуації та енергооптимального алгоритму роботи АПК;

- більша кількість параметрів, що реєструються.

В економічному розділі визначено строк окупності та економічний ефект від впровадження системи визначення економічно обґрунтованих режимів.

					<i>0032.196373.000.03MP.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		75

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; Под. ред. Л. Ф. Хасина. – М.: Желдориздат, 2002. – 452с.

					<i>0032.196373.000.03MP.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		77

ДОДАТОК А

Текст програми інтегрування рівняння руху поїзда

```
[> restart : with(plots) :
```

Интерполяция тяговой и токовой характеристики локомотива (2ТЭ10, 5-я позиция)

```
> Skor := [0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 93] :  
Tyaga := [58000, 50000, 30000, 20000, 14000, 12000, 10000, 8000, 6000, 4200,  
4000] :  
RashodTopl := 3.8 : # ` ` кг/мин  
  
F_V := spline(Skor, Tyaga, v, cubic) :
```

Исходные данные по составу и локомотиву

```
> m4 := 10 :  
Q := 800 :  
P := 135.5·2 :  
Vrasch := 23.4 :  
Vkon := 80 :  
zeta := 120 :  
  
> q4 :=  $\frac{m4}{4}$  :
```

Исходные данные по профилю

```
> iuch := [ 0, -34, 0, 31, 0, 15, 0, 0] :  
such := [ 0, 1146, 2101, 3400, 4240, 5577, 7411, 8481] :  
nuch := 8 : lp := 14.9·10 + 34 :  
Sst := [0, 8481] :
```

Интерполяция уклонов

```
> luch1 := such1 : uuch1 := iuch1 : i := 2 : k := 2 :  
while i ≤ nuch - 1 do  
    luchk := suchi - 0.5·lp : uuchk := iuchi-1 :  
    k := k + 1 :  
    luchk := suchi - 0.25·lp : uuchk := 0.75·iuchi-1 + 0.25·iuchi :  
    k := k + 1 :  
    luchk := suchi : uuchk := 0.5·iuchi-1 + 0.5·iuchi :  
    k := k + 1 :  
    luchk := suchi + 0.25·lp : uuchk := 0.25·iuchi-1 + 0.75·iuchi :  
    k := k + 1 :  
    luchk := suchi + 0.5·lp : uuchk := iuchi :  
    k := k + 1 : i := i + 1 :  
od :  
    luchk := suchi - 0.5·lp : uuchk := iuchi-1 :  
    k := k + 1 :  
    luchk := suchi - 0.25·lp : uuchk := 0.75·iuchi-1 + 0.25·iuchi :  
    k := k + 1 :  
    luchk := suchi : uuchk := 0.5·iuchi-1 + 0.5·iuchi :  
nuchas := k :
```

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

0032.196373.000.03МР.ПЗ

Арк.

78

```

    su := convert(luch, list) :    iu := convert(uuch, list) :
> h1 := iu1 + 50 : i := 2 :
    while i ≤ nuchas do hi :=  $\frac{(su_i - su_{i-1}) \cdot iu_i}{1000} + h_{i-1}$  : i := i + 1 : od:
    huch := convert(h, list) :
    #plot(su, huch, thickness=3);
> su := convert(su, list) : iu := convert(iu, list) :
    #plot(su, iu, thickness=3);
    uklon := spline(su, iu, s, linear) :
    #plot(uklon, s=0..44000);

```

Построение диаграммы удельных сил

```

> wlok := 1.9 + 0.1·v + 0.0003·v2 :
    wsost := 0.7 +  $\frac{3 + 0.1·v + 0.0025·v^2}{q^4}$  :
    Wlok := wlok·P·9.81 :
    Wsost := wsost·Q·9.81 :
    Wpoezd := Wlok + Wsost :
    F := Fv·9.81 :
    f :=  $\frac{F}{9.81 \cdot (P + Q)}$  :
    Wx := (2.4 + 0.011·v + 0.00035·v2)·P·9.81 :
    wx :=  $\frac{Wx + Wsost}{9.81 \cdot (P + Q)}$  :
    phi :=  $\frac{0.27 \cdot (v + 100)}{5 \cdot v + 100}$  :
    nu :=  $\frac{0.95 \cdot 68.5 \cdot m4 \cdot 4}{9.81 \cdot Q}$  :
    bt := 1000·phi·nu :
    wx05bt := wx + 0.5·bt :
    wxbt := wx + bt :
    #plot([f, -wx, -wx05bt], v=0..63, thickness=3);

```

Определение допустимых скоростей движения по участку

Путь подготовки тормозов

```

> if m4·4 < 200 then tp := 7 -  $\frac{10 \cdot iuch_t}{subs(v=Vk, bt)}$  :
    elif m4·4 < 300 then tp := 10 -  $\frac{15 \cdot iuch_t}{subs(v=Vk, bt)}$  :
    else tp := 12 -  $\frac{18 \cdot iuch_t}{subs(v=Vk, bt)}$  : end if:

```

Ограничение скорости по уклону

```

> t := 1 : dV := 2 : Vn := 0 : Spoln := 0 : Sd := 0 : Spodg := 0 :
    while t ≤ nuch do Sd := 0 : Vn := 0 :

```

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

0032.196373.000.03MP.ПЗ

Арк.

79

```

if  $i u_t > -6$  then  $Sdop := 1000$  :
    else  $Sdop := 1200$  : end if:
while  $(Spodg + Sd) \leq Sdop$  do
 $Vk := Vn + dv$  :  $Vs := \frac{Vn + Vk}{2}$  ;
 $Sd := Sd + \frac{500 \cdot (Vk^2 - Vn^2)}{zeta \cdot (subs(v = Vs, wxbt) + iuch_t)}$  :
 $tp : Spodg := 0.278 \cdot Vk \cdot tp$  :
 $Vn := Vk$  : od;
 $Vmax_t := Vk - 1$  :  $t := t + 1$  : od:
>  $l := 1$  :  $m := 1$  :
    while  $m < nuch$  do
         $such_{gr}_l := such_m$  :  $Vmax_{gr}_l := Vmax_m$  :  $l := l + 1$  :
         $such_{gr}_l := such_{m+1} - 1$  :  $Vmax_{gr}_l := Vmax_m$  :  $l := l + 1$  :  $m := m$ 
        + 1 : od:
 $such_{gr} := convert(such_{gr}, list)$  :
 $Vmax_{gr} := convert(Vmax_{gr}, list)$  :
 $Vmax := spline(such_{gr}, Vmax_{gr}, s, linear)$  :
    #plot(Vmax, s = 0 .. 44000);

```

Решение уравнения движения поезда

Определение точки начала торможения

```

>  $vtor_0 := 0$  :  $stor_0 := Sst_2$  :  $vn := 0$  :  $p := 1$  :
> while  $vtor_{p-1} \leq 50$  do
 $dv := 10$  :  $vk := vn + dv$  :  $dv2 := vk^2 - vn^2$  :  $vs := \frac{vn + vk}{2}$  :
 $dstor := \frac{500 \cdot dv2}{zeta \cdot \left( subs(v = vs, wx05bt) + subs\left(s = \frac{stor_{p-1}}{1000}, ukлон\right) \right)}$  ;
 $vtor_p := vk$  :  $stor_p := stor_{p-1} - dstor$  :  $vn := vk$  :  $p := p + 1$  : od:  $tochkatorm$ 
    := ceil( $stor_{p-1}$ );
 $tochkatorm := 7914$  (7.1.1)

```

Начальные условия

```

>  $Digits := 4$  :  $v_0 := 0$  :  $s_0 := 0$  :  $t_0 := 0$  :  $r_0 := 0$  :  $a_0 := 0$  :  $j := 1$  :  $vn := 0$  :  $dv$ 
    := 10 :  $pf_0 := 1$  :

```

Уравнение движения

```

> while  $s_{j-1} \leq tochkatorm + 100$  do
if  $v_{j-1} < Vkon - 4$  then
 $razgon := (subs(v = v_{j-1}, f) - subs(s = s_{j-1} + 50, ukлон) - subs(v = v_{j-1},$ 
     $wx))$  :  $tyaga := 1$  :

```

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

0032.196373.000.03MP.ПЗ

Арк.

80

```

else razgon := (-subs(s = sj-1 + 50, uklon) - subs(v = vj-1, wx)) : tyaga
:= 0 :
    if razgon > 0 then razgon := (-subs(s = sj-1 + 50, uklon) - subs(v
= vj-1, wx05bt)) : tyaga := 0 :
        else razgon := (-subs(s = sj-1 + 50, uklon) - subs(v = vj-1, wx)) :
tyaga := 0 : end if : end if :

```

```

if razgon > 0 then vk := vn + dv : dv2 := vk2 - vn2 : else vk := vn - dv : dv2
:= vk2 - vn2 end if : vs :=  $\frac{vn + vk}{2}$  :

```

$$dsss := \frac{500 \cdot dv2}{zeta \cdot razgon}$$

```

if dsss < 400 then ds := dsss : else ds := 400 : end if :

```

$$dt := \frac{ds}{1000} \cdot \frac{60}{vs}$$

$$A := RashodTopl \cdot dt \cdot tyaga :$$

```

vj := vk : sj := sj-1 + ds : tj := tj-1 + dt : aj := aj-1 + A : pfj := tyaga :
if vj < 30 then dv := 5 : elif 30 ≤ vj < 50 then dv := 2 : elif 50 ≤ vj < 80
then dv := 1 : else dv := 0.4 : end if :
umenwint := Sst2 - sj : if umenwint < 500 then dv := 0.1 : end if :
vn := vk : j := j + 1 : od :

```

s_{j-1} ;

Торможение поезда

```

while vj-1 > 0 do pfj := 0 :

```

```

if vj-1 > 5 then dv := 5 : else dv := 0.2 : end if :

```

```

vk := vn - dv : dv2 := vn2 - vk2 : vs :=  $\frac{vn + vk}{2}$  :

```

$$ds := \frac{500 \cdot dv2}{zeta \cdot (subs(v = vs, wx05bt) + subs(s = s_{j-1}, uklon))} ; dt := \frac{ds}{1000} \cdot \frac{60}{vs}$$

```

vj := vk : sj := sj-1 + ds : tj := tj-1 + dt : aj := aj-1 + 0 :
vn := vk : j := j + 1 : od :

```

8019.

(7.3.1)

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

0032.196373.000.03MP.ПЗ

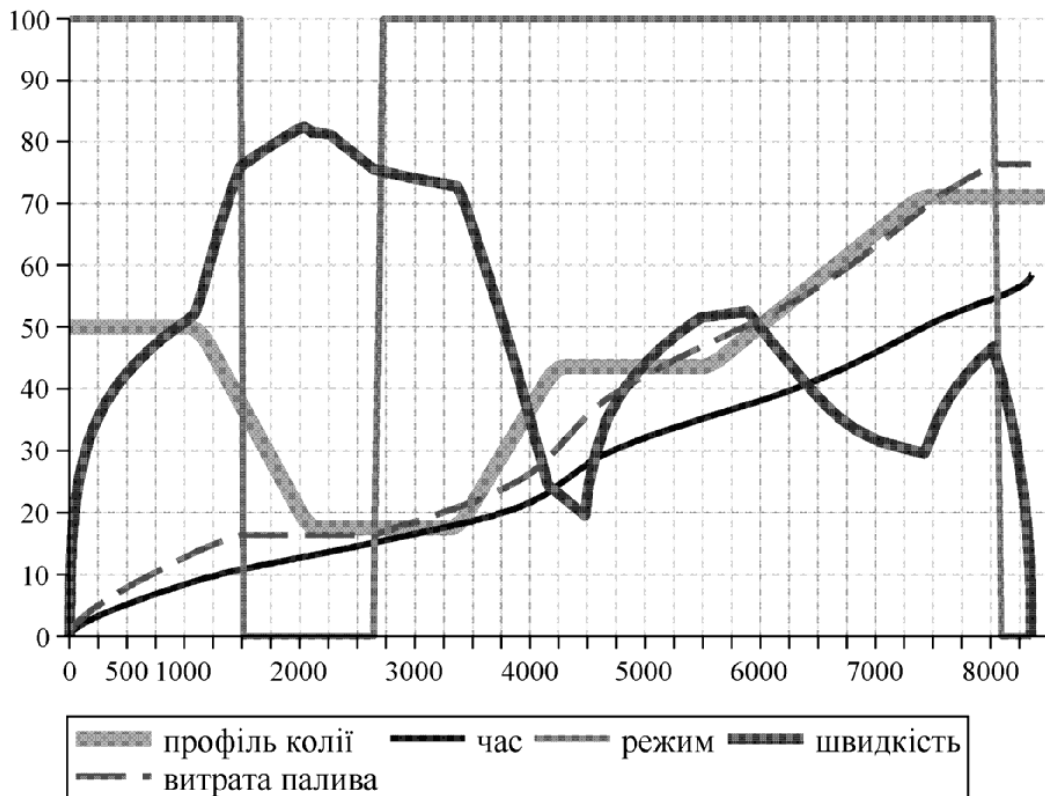
Арк.

81

```

> sv:= convert(s, list) : vv:= convert(v, list) : tv:= convert(t, list) :
  pfv:= convert(pfv, list) : av:= convert(a, list) :
> skorost:= plot(sv, vv, thickness=5, style=line, symbol=solidcircle,
  symbolsize=8, legend="швидкість") :
vremya:= plot(sv, tv*5, thickness=3, color=blue, legend="час") :
profil:= plot(sv, huch*1, thickness=7, color=green, legend
  ="профіль колії") :
ktyagi:= plot(sv, pfv*100, color=orange, thickness=3, style=patch, legend
  ="режим") :
rashodtopl:= plot(sv, av*2, linestyle=3, thickness=3, color=maroon, symbol=CROSS, legend
  ="витрата палива") :
> Vteh:= ceil( $\frac{60 \cdot s_{j-1}}{1000 \cdot tv_{j-1}}$ ) ; tsum:= tv_{j-1} ; ost:= ceil(sv_{j-1}) ; j : rashod
  := a_{j-1} ;
  Vteh:= 43
  tsum:= 11.70
  ost:= 8351
  rashod:= 38.14
(7.3.2)
> display({skorost, profil, vremya, ktyagi, rashodtopl}, xtickmarks=30,
  ytickmarks=11, titlefont=[arial, 16], grid=[10, 10]);

```



sv

[0, 7.995, 19.78, 40.74, 78.24, 139.2, 173.8, 214.6, 263.1, 320.9, 389.7, 471.0, 565.6, 673.7, 795.9, 933.3, 1010., 1079., 1102., 1122., 1139., 1155., 1170., 1184., 1197., 1211., 1217., 1223., 1229., 1235., 1241., 1247., 1253., 1259., 1265., 1271., 1277., 1283., 1289., 1295., 1301., 1307., 1313., 1320., 1327., 1334.,

(1)

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

0032.196373.000.03MP.ПЗ

Арк.

82

