

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ	11
АНАЛІЗ ПОПЕРЕДНЬОГО ДОСВІДУ У СИСТЕМАХ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТЯГИ ПОЇЗДІВ11	
1.1 Класифікація систем автоматизації тяги поїздів	11
1.2 Системи автоводіння електропоїздів	16
1.3 Сучасні моделі автоматизації руху та тяги поїздів.....	27
1.4 Висновки до розділу 1	
РОЗДІЛ 2	31
МАТЕМАТИЧНЕ ТА ІНФОРМАЦІЙНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РОЗРОБКИ МОДЕЛІ	
2.1 Математичний апарат реалізації моделі.....	31
2.2 Радіочастотна ідентифікація як інформаційне забезпечення розробки моделі.....	44
4	
2.3 Висновки до розділу 2	
РОЗДІЛ 3	55
РЕАЛІЗАЦІЯ МОДЕЛІ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО УПРАВЛІННЯ ТЯГОЮ ЛОКОМОТИВА У СЕРЕДОВИЩІ MATLAB	
3.1 Вибір змінних вхідних факторів моделі	55
3.2 Технічна реалізація оптимального управління тягою поїзда	60
3.3 Додаткові вхідні дані для реалізації моделі.	65
3.4 Реалізація імітаційної моделі у програмному пакеті MATLAB	68
3.5 Експериментальні дані для перевірки адекватності моделі.....	71
3.6 Висновки до розділу 3.....	

ВИСНОВКИ.....	83
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	84

ВСТУП

Актуальність дослідження. Вітчизняній пострадянській економіці притаманний високий рівень споживання енергоносіїв. Із переходом на ринкові відносини це питання постало особливо актуально. Фактично, за останні 16 років енергоємність залізничного транспорту зменшилась майже вповнину[1]. Однак резерви є і використовуються вони ще далеко не повною мірою.

Щороку залізничний транспорт споживає мільярди кіловат-годин електроенергії та сотні тисяч тонн дизельного пального, мільйони кубометрів природного газу. Такі суттєві показники говорять про актуальність теми збереження паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР). Завдяки різноманітним заходам, їхні витрати із розрахунку на здійснену роботу з року в рік вдається скорочувати. Так енергоємність залізничного транспорту минулого року знижено на 2,6 % порівняно з 2015 р. У цілому за період з 1997 по 2015 р. цей показник зменшено на 49,7 %.[1]

Якщо 16 років тому на 1 млн приведених тонна-кілометрів витрачалося 17,7 т умовного палива (туп), то зараз — 8,7 т.

Основні обсяги витрат електроенергії та пального на залізницях припадають на тягу поїздів. У цьому плані спостерігається позитивна тенденція. Так у січні 2015 р. від зниження питомих витрат економія, порівняно із відповідним періодом минулого року, становила 863 т дизпалива та 9 млн кВт•год електроенергії.

Однак резерви економії ще чималі. Отже, на це має бути звернено першочергову увагу відповідальних посадових осіб на місцях.

Електрична тяга, крім значної експлуатаційної привабливості, має високу енергетичну ефективність. У подальшому її переваги посилюватимуться значними резервами коефіцієнта корисної дії електровозів, підвищенням дефіцитності дизельного пального та його вартості, яка вже тепер неспівставна з ціною електроенергії.

Цей вид тяги дає значну економію. Наприклад, при застосуванні рекуперативного гальмування поїзда виробляється та повертається в тягову мережу електроенергія і як наслідок — зменшуються питомі витрати в електротязі.

Пристроями для цього обладнані електровози ВЛ-8, ВЛ-10, ВЛ-11, ДЕ-1, які експлуатуються на дільницях постійного струму, та ДС-3, 2ЕЛ5, 2ЕС5К — при змінному струмі.

Через зменшення обсягів перевезень повернення електроенергії за рахунок рекуперації минулого року дещо скоротилося.

Резервами збільшення цього показника є:

- відновлення схем рекуперативного гальмування на електровозах і моторвагонному рухомому складі (МВРС);
- підтримання оптимального рівня напруги в контактній мережі;
- організація максимального використання відрекуперованої електроенергії іншими електровозами і МВРС[3].

Вибір режимів управління окремого поїзда при заданому часі ходу по перегону, швидкісних обмеженнях, плані і профілі шляху реалізується на базі рішення задачі оптимального управління за критерієм мінімуму витрати енергії (палива). У тому випадку, коли можлива варіація часу ходу по перегону, режими управління вибираються за критерієм мінімуму приведених витрат[4]. На базі рішення задач оптимізації створюється алгоритмічне і програмне забезпечення бортових пристроїв систем автоматичного (або автоматизованого) управління рухом поїзда. Циклічне з певним тактом вирішення задачі оптимізації від поточного моменту і координати поїзда до кінця перегону дозволяють компенсувати завжди присутні перешкоди, що впливають на об'єкт управління.

При створенні графіка руху поїздів виникає завдання розподілу часу ходу поїзда по ділянкам і на час ходу по перегонах. Якщо обрано, як критерій ефективності цього розподілу, мінімум витрати енергії на тягу, то отримаємо оптимізаційну задачу рішення якої наведено в даній роботі.

Аналогічна задача виникає в централізованих системах автоматичного управління рухом поїздів, коли центру потрібно, знаючи час, що залишився ходу поїзда до кінця ділянки, перерозподілити його на часи ходу по перегонах. Отримання своєчасної інформації до центру і взаємообмін даних планується шляхом радіоідентифікаційних приладів – сканерів і міток.

При русі безлічі поїздів по ділянці необхідно забезпечити такий інтервал їх прямування, щоб при екстреному гальмуванні поїзду, що йде попереду, поїзд, що йде ззаду в режимі службового гальмування, зміг гарантовано зупинитися без зіткнення з « хвостом» поїзда, що йде попереду. Функцію забезпечення безпеки руху виконують системи інтервального регулювання - складова частина систем автоматичного управління рухом поїздів[5].

Системи інтервального регулювання залежно від поїздної ситуації встановлюють швидкісне обмеження для поїздів попутного прямування, які повинні, безумовно, виконуватися системами управління поїздами. По суті системи інтервального регулювання задають обмеження на управління залежно від стану системи.

Мета роботи: удосконалення процесу управління тягою поїзда при магістральних перевезеннях за критерієм зменшення енерговитрат.

Об'єкт дослідження: процес управління швидкісним режимом поїзда при магістральних перевезеннях.

Предмет дослідження: мінімізація енерговитрат в процесі управління швидкісним режимом поїзда при магістральних перевезеннях.

Методи дослідження: системний аналіз, метод нечіткої логіки, методи імітаційного моделювання, методи теорії електричної тяги рухомого складу.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ПОПЕРЕДНЬОГО ДОСВІДУ У СИСТЕМАХ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТЯГИ ПОЇЗДІВ

1.1 Класифікація систем автоматизації тяги поїздів

Метою управління рухом поїзда є забезпечення його переміщення між кінцевими або проміжними станціями за заданий час, яке визначається загальним графіком руху поїздів на ділянці залізниці. Необхідною умовою при цьому є дотримання всіх експлуатаційних обмежень, основним з яких для всіх типів поїздів є обмеження по швидкості руху. Величина максимально допустимої швидкості визначається пристроєм рухомого складу, залізничного полотна та штучних споруд, а також технічним станом останніх. Крім цього, величина допустимої швидкості залежить від поточної поїзної ситуації на лінії. Щодо вантажних поїздів, додатковою, важливою, вимогою є необхідність реалізації такого закону управління, щоб дотримати обмеження на величини, що діють у складі поздовжніх динамічних сил, а також досягти необхідних квартална показників якості перехідних процесів, що виникають в поїзді під час руху.

Для вирішення поставлених задач призначені системи автоведення поїздів (САВП) і забезпечення безпеки руху. Найкращі результати досягнуті при використанні дворівневої САВП, в якій верхній рівень здійснює вибір режиму управління, ґрунтуючись на інформації про заданий часу ходу поїзда. Режимми руху вибираються таким чином, щоб забезпечити мінімальні витрати паливно-енергетичних ресурсів, що витрачаються на тягу поїздів. Для вирішення поставленого завдання використовуються алгоритми, що реалізують принцип максимуму Понтрягіна[6]. Завданням, покладеної на систему нижнього рівня, є управління тяговими і гальмівними засобами локомотива для виконання заданих верхнім рівнем режимів руху поїзда. При подібному дворівневому способі

побудови систем автоведення система нижнього рівня повинна реалізувати закон управління, що враховує специфіку вантажного поїзда. В даний час існує безліч різних типів автономних САВП. За родом поїздів автономні САВП можна розділити на системи автоводіння електропоїздів, пасажирських поїздів і вантажних поїздів. Перші вітчизняні САВП були автономними і були розроблені для приміських поїздів як для найбільш підготовленого до автоматизації об'єкта.

За рівнем централізації САВП ділять на централізовані і автономні. Централізовані САВ отримують інформацію про параметри руху всіх поїздів на лінії і виробляють команду управління кожному поїзду відповідно до отриманої інформації і необхідної програмою руху. Такі САВП, як правило, будують як ієрархічні системи. Функції управління між рівнями ієрархії можуть бути розподілені різно залежно від принципів побудови системи.

Автономні САВП відповідно до заданої програми руху здійснюють управління тільки одним поїздом. При цьому взаємодія поїздів визначається системою інтегрального регулювання; компенсація збурень реалізується системою автоматичного управління кожного поїзда незалежно від розташування інших поїздів на лінії і визначається законами управління, наявністю ресурсу регулювання та обмеженнями, що накладаються системами безпеки руху.

Централізована система володіє великими можливостями, так як наявність інформації про становище всіх поїздів на лінії дозволяє більш гнучко компенсувати різні збурювання. У той же час при централізованій системі необхідні канали зв'язку між усіма поїздами лінії і центральним постом управління, тобто ускладнюється її технічна реалізація.

За типом поїздів системи автоводіння класифікують на САВП метрополітенів, приміських електропоїздів, пасажирських і вантажних поїздів.

Тип поїзда визначає принцип побудови САВП, вимоги до управління його веденням, до функцій гальмівних пристроїв. Для приміських поїздів і поїздів метрополітену характерні велика кількість зупинок, висока вимога до точності зупинок у платформ (+ -0.45 - + - 1м - в метро, до + - 5м - приміські). Пасажирські та вантажні потяги йдуть з рідкісними зупинками, час їх невпинного руху становить

кілька годин, похибка зупинки ± 10 м. Тому для приміських поїздів і поїздів метрополітену розробляють САВП з автоматичними пристроями прицільного гальмування. Для швидких пасажирських поїздів функції управління гальмівними пристроями можуть бути обмежені автоматичним зниженням швидкості до заданого рівня з подальшим переходом на ручне управління до повної зупинки.

Централізовані системи автоводіння почали впроваджувати на метрополітенах[6]. Це визначається, з одного боку, вимогами високої точності виконання програми руху (з похибкою не вище $\pm 2,5$ с), з іншого - невеликим (порівняно з магістральними дорогами) довжинами ліній, можливість організації кабельних каналів зв'язку в тунелях метрополітенів, однотипністю поїздів, сприятливими кліматичними умовами. САВП приміських електропоїздів, пасажирських та вантажних поїздів спочатку розробляли як автономні. В останні роки для магістральних поїздів розпочато розробку централізованих САВП, в яких автономні системи використовуються як поїзні пристрої системи автоматичного управління рухом поїздів, причому додаються пристрої введення інформації на борт про швидкісні обмеження, корекції часу ходу по ділянці або перегону. Подібні системи відносяться до класу централізованих САВП, що використовують спорадичну передачу інформації з центрального поста управління на поїзд.

За способом розрахунку програм САВП ділять на;

1. Власне програми, для яких програми руху розраховуються попередньо в стаціонарних умовах і записуються в пам'ять бортового пристрою ;
2. Здійснюється побудова програм руху в реальному часі, а режим руху розраховується бортовим пристроєм. В даний час розроблені мікропроцесорні системи автоводіння, циклічно реалізують розрахунок оптимальних по мінімуму витрати енергії при заданому часу ходу програм руху на борту локомотива.

За місцем розташування програм руху розрізняють системи автоводіння з бортовими та небортовими програмами. У САВП з небортовими програмами інформація про управління частково або повністю може бути розташована на

шляху. Передача сигналів на борт здійснюється за допомогою індуктивних датчиків, шлейфів, рейкових кіл, радіоканалу, ВЧ каналу зв'язку з контактної мережі, каналів НВЧ і інфрачервоного випромінювання. Зокрема, програма прицільного гальмування для магістральних доріг записується в бортових пристроях, а для поїздів метрополітену може зберігатися як на шляху, так і в пам'яті поїзного пристрою.

Застосування мікропроцесорних САВП з розвиненими алгоритмами управління дозволило виключити повністю або частково небортові програми, які ускладнюють експлуатацію та ремонт верхньої будови колії і здорожують вартість обладнання.

За апаратної реалізації системи автоводіння можна розділити на два класи: САВП, виконані на спеціалізованих пристроях (такі системи будувалися на початку автоматизації управління рухом поїздів), і САВП, побудовані на мікропроцесорній базі.

За кількістю контурів управління САВП ділять на одно - і двоконтурні. У одноконтурних САВП є тільки регулятор часу ходу, який залежно від неузгодженості між програмним і фактичним часом ходу вибирає позицію контролера машиніста (на локомотивах) або режим ведення (для електропоїздів метрополітену). У двоконтурних САВП додатково застосовується регулятор швидкості, установку якого задає регулятор часу ходу. Двоконтурні САВП є більш перспективними, тому що дозволяють уніфікувати регулятор часу ходу щодо типу локомотива, компенсувати збурення на рівні регулятора швидкості.

За ступенем автоматизації, що залежить від типу рухомого складу, ступеня оснащення його внутрішньої автоматикою, застосовуваних засобів гальмування, вимог до якості управління, САВП поділяються на: повністю автоматичні, в яких весь процес управління поїздом від пуску до повної зупинки виконується автоматично, і машиніст може не брати участь у процесі управління (управління без людини). Такі САВП наявні на метрополітені м. Лілля (Франція), де експлуатуються поїзда з двох вагонів.

З часткової автоматизацією, в яких деякі функції, наприклад закриття дверей в метрополітені для підвищення безпеки посадки пасажирів, процес зупинки магістральних поїздів і т.п. можуть бути передані машиністу.

Автономні САВП залежно від місця розрахунку програм ведення поїзда можна поділити на два класи: системи, для яких програми руху за допомогою бортових ЕОМ розраховуються на поїзді в процесі його руху (автономні САВП з бортовими ЕОМ), і системи з попередньо розрахованими програмами (програмні САВП).

Перевага САВП з бортовими ЕОМ - можливість теоретичного одержання більш високої точності завдяки обліку поточних параметрів руху поїзда (швидкості, пройденого шляху) при розрахунку програм.

Незважаючи на облік поточних параметрів руху для розрахунку програм руху поїзда на ділянку шляху, системи даного класу так само, як програмні САВП, не можуть врахувати дійсні значення напруги на струмоприймачі і основного опору руху поїзда.

До недоліків вищевказаних систем відноситься їх складність і, отже, низька надійність роботи, висока вартість через наявність на борту спеціалізованих обчислювальних машин. У зв'язку з тим, що програми руху розраховуються бортовою малою спеціалізованою обчислювальною машиною, стає неможливим визначити оптимальні програми руху поїзда по витраті енергії.

Перевага автономних програмних САВП - простота апаратною реалізації за рахунок відстеження заздалегідь розрахованих програм руху, які можна визначити на ЕОМ як оптимальні за заданим критерієм. Програмні САВП дозволяють отримати досить високу точність і гарну якість управління, що буде показано при розгляді конкретних систем.

Моделювання руху потягу на ЕОМ показало, що навіть при допустимих варіаціях маси поїзда, напруги на струмоприймачі, основного опору руху поїзда водіння поїзда по попередньо складених програмах, оптимальних по витратам енергії для середніх розрахункових параметрів руху поїзда, не призводить до перевитрати енергії більш ніж на 0,5% порівняно з оптимальним. Дослідження

показали, що попередньо розрахована оптимальна програма руху поїзда буде раціональною по витраті енергії і при відхиленнях параметрів руху, поїзди від розрахункових.

Всі автономні програмні САВП можна по числу використовуваних програм розділити на однопрограмні, двопрограмного і трьохпрограмні.

1.2. Системи автоводіння електропоїздів

Специфіка управління рухомим складом визначає основні риси алгоритмів роботи САВП. Рух електропоїздів в основному визначається поєднанням трьох режимів: розгону з найбільшим допустимим прискоренням, холостого ходу (вибігу) і гальмування. На довгих перегонах виникає необхідність підтримки постійної швидкості. Алгоритм роботи системи автоводіння електропоїзда в основному полягає у виборі точок переходу з тяги на вибіг і моменту початку гальмування[8].

Незважаючи на зовнішню простоту алгоритму керування електропоїздом, існує багато різних типів вітчизняних і зарубіжних систем автоводіння, які відрізняються способами визначення моменту виключення тяги і методами компенсації відхилення від графіка руху. Розглянемо кілька варіантів найбільш цікавих систем автоводіння електропоїздів.

Перший вітчизняний зразок системи автоводіння був розроблений Науково-дослідним інститутом керуючих і обчислювальних машин (НДІ КОМ) для управління приміським електропоїздом. Система автоводіння, що отримала назву «автомашиніст», є автономною САВП з бортової ЕОМ.

У 1957-1958 рр.. макет «автомашиніст» для електросекції Сз випробовувався на ділянках Куйбишев - Безім'янка і Кунцево – Усово.

У 1960 р. «автомашиніст» був встановлений на двох електропоїздах EP1-91 і EP1-92, що надійшли в дослідну експлуатацію на ділянку Москва-Клин Жовтневої дороги. У 1963 р. Ризьким вагонобудівним заводом (РВЗ) був побудований приміський поїзд EP2-413 з системою автоматичного управління, вдосконалений на основі досвіду роботи поїздів EP1-91 і EP 1-92 [14].

При подальшому викладі назвемо цю систему автоводіння поїзда САВП НДІ КОМ [13]. Система працює за наступним алгоритмом. Кожен перегін розбитий на контрольні ділянки. Межами контрольних ділянок є межі блок-ділянок та місця початку гальмування перед пунктами зупинок.

У блок тягових і гальмівних характеристик закладена інформація, відповідна чотирьом тяговим характеристикам, чотирьом гальмівним характеристикам і режиму вибігу.

У блоці постійної програми системи автоводіння зберігається інформація профілю ділянки, програмне час ходу по кожному контрольному ділянці. При натисканні машиністом кнопки «Пуск» система включає першу тягову позицію і розгін здійснюється відповідно до дії внутрішньої автоматики електропоїзда. Під час пуску арифметичний пристрій проводить тяговий розрахунок і вибирає таку тягову позицію, при якій до кінця контрольної ділянки потяг зможе досягти програмного часу ходу.

Якщо на контрольній ділянці передбачено перемикання на вибіг, то система починає розрахунок відразу на вибігу і дає команду на вимикання тяги, коли різниця між розрахунковим часом ходу і програмним змінить знак.

На останній контрольній ділянці кожного перегону перед зупинкою встановлюється шляхової датчик, по сигналу якого здійснюється корекція шляху, так як шлях вимірюється з помилкою за рахунок зміни кола катання колеса і включається обчислювальний пристрій для розрахунку гальмівного шляху на найсильнішій гальмівній характеристиці.

Як тільки розрахункова точка зупинки поїзда збігається з заданим місцем зупинки, включається найсильніша гальмівна щабель і розрахунок далі проводиться на більш слабкій ступені гальмування і т. д. Фактичне гальмівне зусилля більше закладеного в розрахунок для того, щоб забезпечити поступове зниження гальмівного зусилля до моменту зупинки.

Дослідна експлуатація САВП НДІ КОМ показала низьку надійність роботи системи в зв'язку з її складністю через наявність обчислювальної машини для

проведення тягових розрахунків на борту і безперспективність САВП даного класу. Тому САВП НДІ КОМ не запроваджена в експлуатацію.

У ЦНДІ МПС розроблена автономна програмна система автоводіння електропоїздів з розташуванням програм руху на борту, названа «автомашиніст» ЦНДІ, або скорочено АМ ЦНДІ

АМ ЦНДІ - двопрограмна система з програмами швидкості переходу на вибіг v_{Bn} (s) і часу ходу t_n (s) залежно від шляху.

Функції АМ ЦНДІ наступні: ведення поїзда з точністю за часом ± 15 с; зупинка поїзда з точністю ± 5 м; автоматичне здійснення постійних обмежень по швидкості, заданих на програмній перфокарті; виконання тимчасових обмежень, що задаються машиністом; примусовий вибіг перед початком, гальмування з метою більш економічного ведення поїзда; обмеження швидкості руху при появі жовтого сигналу АЛС; службове гальмування при появі червоно-жовтого сигналу АЛС.

Автоводіння поїзда здійснюється при чергуванні режимів тяга-вибіг, вибіг-гальмування. Управління виконується за рахунок зміни тривалості вибігу з обов'язковим збереженням найменшого економічно обгрунтованого вибігу. Перехід на вибіг відбувається в момент збігу поточної швидкості із заданою в програмі руху швидкості переходу на вибіг v_{Bn} (s).

Розглянемо роботу АМ ЦНДІ. У блоці програм для кожного перегону міститься інформація про час відправлення поїзда від зупинкового пункту. t_n або проходу його у випадку беззупинного руху,, швидкості переходу на вибіг ІВП і значеннях допустимих швидкостей.

У момент проходу зупиночних пунктів у блоці порівняння часів ходу порівнюється дійсний час t з програмним часом t_n . У разі випередження графіку руху на величину Δt в блоці корекції випередження визначається значення зменшення швидкості переходу з тяги на вибіг.

У блоці порівняння швидкостей проводиться порівняння дійсної швидкості v з програмною швидкістю переходу на вибіг $V_{ВП}$ або з $V_B = V_{Bn} - \Delta v$ у разі випередження графіку.

У момент рівності дійсної швидкості та програмної проводиться відхилення тяги за допомогою вихідного блоку системи.

Спосіб контролю відключення тягових двигунів за швидкістю переходу на вибіг є більш точним з точки зору витримування графіка руху поїзда, ніж контроль за часом ходу під струмом або з пройденого шляху під струмом.

У разі запізнення поїзда на величину Δt в блоці корекції запізнення визначається час на яке збільшується час руху поїзда під тягою-від моменту досягнення програмної швидкості переходу на вибіг.

Коефіцієнт k_2 в системі АМ ЦНДІ також прийнято постійним для всіх перегонів з метою спрощення апаратури.

На перегонах, де швидкість руху досягає сталого значення або рівня діючого обмеження, визначення моменту переходу на вибіг здійснюється з контролем двох параметрів: програмної швидкості переходу на вибіг верба і часу, відлічуваного від моменту досягнення програмної швидкості до моменту переходу на вибіг. АМ ЦНДІ постійно стежить за тим, щоб дійсна швидкість не перевищувала постійних обмежень: швидкості або допустимої швидкості за сигналами АЛС. Відпрацювання швидкості обмеження - за схемою тяга-вибіг-тяга для ділянки з ухилом, близьким до нульового, або за схемою тяга-вибіг-гальмо-вибіг на спусках.

Принцип роботи гальмівного блоку системи АМ ЦНДІ заснований на ступінчастому регулюванні гальмівної сили поїзда в залежності від відхилення дійсної швидкості від програмної, представленої у вигляді залежності швидкості від відстані до місця зупинки. Пройдений шлях перед початком гальмування коригується датчиком шляху, встановленим, на заданій відстані від місця зупинки.

Випробування системи АМ ЦНДІ на експериментальному кільці показали, що при багаторазовому повторенні режиму ведення поїзда на ділянці протяжністю 3 км при відправленні за графіком точність виконання перегінного часу була в межах ± 8 с при заданому, часу ходу 197 с і $V_{ВП} = 80$ км / год . При відхиленнях моменту рушання від +20 до -45 з точність виконання графіка була в межах 12 с. Розкид поточності зупинки становив 5,5 м.

Дослідний зразок системи АМ ЦНДІ виготовлений на діод-транзисторних модулях серії «Сейму». Дослідний зразок АМ ЦНДІ встановлений на електропоїзді ЕР2 № 906 і з вересня 1975 знаходиться у дослідній експлуатації на ділянці Москва - Клин.

До програмних САВП відноситься система автоводіння для швидкісного електропоїзда ЕР200, розроблена інститутом «Гіпротранссигнальсвязь» (ГТСС) [17, 18]. Електропоїзд ЕР200 призначений для руху зі швидкістю до 200 км / год з рідкісними зупинками. Перші такі електропоїзди курсували на ділянці Москва - Ленінград. САВП ГТСС є двопрограмною системою з програмами $v_n (s)$ і $t_n (s)$. САВП ГТСС виконує наступні функції: рух поїзда по ділянці з однією з семи градацій програмної швидкості: 200, 180, 160, 140, 120, 100 і 50 км / год з точністю ± 5 км / год; виконання графіка руху з точністю ± 30 с. Всі операції з управління електропоїздом ЕР200 при швидкостях вище 50 км / год здійснюються автоматично, а при менших швидкостях - машиністом.

Алгоритм роботи системи може бути представлений у вигляді послідовності наступних режимів управління: розгін, підтримання рівноважної тяги, вибіг, гальмування. Для регулювання часу руху на кожному перегоні обрано спосіб зміни шляху руху на вибігу і зменшення рівня рівноважної тяги. Середня довжина перегону близько 20 км.

При запізненні поїзда збільшується шлях руху з рівноважною тягою і, отже, скорочується вибіг. При незначному випередженні графіка руху подовжується вибіг. При великому випередженні графіка руху програмна швидкість знижується на одну градацію, наприклад з $V_{п1}$ на $V_{п2}$. Можлива комбінація цих двох методів регулювання часу ходу.

Режим руху вибирається на основі порівняння поточного часу з програмним, заданих в контрольних ділянках (кінець швидкісних обмежень і місце початку вибігу).

Задана швидкість підтримується за наступним алгоритмом. Якщо $V < i (v_n - 4)$, то поступово збільшується сила тяги. Якщо $V > (V_{п} + 4)$, то сила тяги поступово зменшується. Коли фактична швидкість не виходить за межі $(V_{п} \pm 4)$ км / год, то

фактичне прискорення порівнюється з заданим і в разі відхилення змінюється сила тяги. Програми часу, швидкості та шляхи вводяться за допомогою двох програмних механізмів з рухомим носієм на перфострічці шириною 35 мм з фотоелектричним методом зчитування. Дослідний зразок САВП ГТСС виконаний на елементах серії «Спектр».

На кожному контрольному участку е проводиться порівняння дійсного часу ходу поїзда t з програмним t_p і визначається неузгодженість Δt . Якщо поїзд запізнюється, то швидкість збільшується на величину Δv , пропорційну Δt , дотримуючись умову неперевищення допустимої швидкості $V_{доп}$. Якщо поїзд випереджає графік, то програмна швидкість v_a зменшується на величину Δv .

При регулюванні часу ходу за допомогою підтримки необхідної швидкості важливого значення набуває якість регулятора швидкості. При безперервному тиристорному управлінні силою тяги завдання підтримки швидкості спрощується, а при ступінчастому управлінні силою тяги.-ускладнюється. У розглянутій системі підтримання швидкості здійснюється регулюванням напруги на двигунах, так як система встановлювалася на електропоїзді змінного струму з великим числом ходових позицій управління.

Тому, виходячи з труднощів точного регулювання швидкості при дискретному управлінні силою тяги, в системі АМ ЦНДІ на відміну від розглянутої системи швидкісного програмування регулювання часу ходу здійснюється зміною швидкості переходу з тяги на вибіг vB .

У Франції для електропоїздів змінного струму приміського сполучення була розроблена автономна система автоводіння програмного типу з програмами: перегінних часів ходу t_n (s), залежно шляху, яку проходить поїзд під струмом, від часу ходу до кінця ділянки sT (Т) і заданої швидкості по перегону v_a (s) [20]. Розглянута САВП є трьохпрограмною системою. Алгоритм її роботи заснований на тому, що заздалегідь для кожного перегону будується залежність шляху, яку проходить поїзд по ньому під струмом, від часу ходу до кінця ділянки sT (Т), виходячи з умови мінімуму витрати енергії по всій ділянці.

Даний алгоритм роботи САВП, заснований на оптимальному по витраті енергії перерозподілі по перегонах часу відхилення від графіка руху, дозволяє отримати економію енергії за рахунок поступової компенсації запізнення на наступних перегонах до кінця ділянки.

Такий спосіб компенсації запізнення поїзда прийнятний тільки за умови неповного використання пропускної здатності. При високому використанні пропускної здатності потрібно за найменший час компенсувати запізнення кожного поїзда для того, щоб не перешкодити ззаду наступним поїздам. У розглянутій САВП тільки для ліквідації великих відставань застосований спосіб інтенсивного режиму наганяння.

У зв'язку з тим що при експлуатації приміських електропоїздів виникає велика різноманітність програм руху поїздів, що відрізняються пунктами зупинок (частина потягів йде без зупинок, частина потягів йде з зупинками), з'являється необхідність зберігання на поїзді в ЗУ великої кількості кривих sT (T) для різних умов руху поїздів, що сильно ускладнює САВП цього типу.

Для нової високошвидкісної лінії Тохоку і Джоецу (Японія) створено моторвагонний електропоїзд типу 961, який обладнаний системою АТОМІС, що означає «Автоматична система управління за допомогою міні-ЕОМ». Систему АТОМІС встановлюють в кабіні головного вагона. Ця система працювала в комплексі з централізованою системою автоуправління рухом поїздів. Оскільки система АТОМІС є бортовою системою з програмами на борту, то вона може працювати як автономна. Безпеку руху забезпечує система швидкісного авторегулювання, яка в разі перевищення швидкості автоматично її знижує.

Система АТОМІС відноситься до класу САВП з бортовою Міні-ЕОМ, виконана на інтегральних елементах, містить в пам'яті такі дані: час відправлення та прибуття, час проходження кожної станції, найменший час ходу між станціями, заплановані ділянки обмеження швидкості.

Залежно від відхилення від графіка руху поїзда міні-ЕОМ обчислює швидкість руху. Далі обчислюється відхилення дійсної швидкості від розрахункової і міні-ЕОМ вибирає відповідну позицію контролера, виходячи з прискорення

поїзда. Точність підтримки постійної швидкості ± 2 км / год, а виконання заданого часу ходу ± 15 с.

При зупинці поїзда за допомогою системи швидкісний регулювання швидкість знижується до 30 км / год, після чого здійснюється програмне гальмування, що забезпечує точність зупинки $\pm 0,5$ м.

Системи автоводіння вантажного поїзда

Специфіка управління вантажним поїздом ставить перед розробником системи автоводіння важкі завдання. На відміну від електропоїздів і пасажирських поїздів у вантажних поїздах важко піддається автоматизації процес пуску через буксування поїзда і процес гальмування, так як гальма у вантажних поїздах пневматичні. Тому в даний час ще немає великого досвіду в розробці систем автоводіння вантажного поїзда. В основному є спроби автоматизації спеціалізованих вантажних поїздів на гірничо-збагачувальних комбінатах, де для цього існують більш сприятливі умови. У нашій країні системами автоводіння вантажного поїзда займається Ленінградський інститут інженерів залізничного транспорту (Петербурзький державний університет шляхів сполучення), який розробив систему програмного управління тепловозом (САВП2 ПДУШС). Вона відноситься до класу автономних двопрограмних систем з програмами часу ходу t_n (s) і режимів управління N_u (s) У програмному блоці системи зберігаються програми для декількох різних мас поїздів. Перед відправленням поїзда машиніст на пульті управління встановлює номер режиму, відповідний масі поїзда. Розгін поїзда здійснюється машиністом при ручному управлінні. Після виїзду зі станції в певному місці включається система автоводіння. Система програмного керування на кордоні кожної контрольної ділянки виробляє порівняння програмного часу ходу t_n (s) з дійсним. Якщо поїзд випереджає графік руху, то система включає на наступній контрольній ділянці режим, відповідний меншій масі поїзда. Якщо поїзд відстає від графіка, то включається режим управління N_p (s), відповідний більшій масі поїзда. Оперативний блок здійснює зв'язок з ланцюгами управління тепловозом. Гальмівний блок використовується для гальмування поїзда при

прямуванні його по перегону згідно з програмою руху. Зупинку поїзда виконує машиніст при ручному управлінні.

Вимірювання швидкості та шляхи в розглянутій системі здійснюються спеціальним пристроєм аналізу частоти обертання всіх шести осей тепловоза. За дійсну приймається частота обертання тієї осі, яка має найменше її значення. Порівняння частот обертання шести осей дозволяє зменшити вплив буксування на точність вимірювання швидкості і шляху.

Система програмного керування тепловоза виконана на промислових транзисторних-діодних елементах серії «Логіка-Т» у вигляді шафи, встановленої в дизельному відділенні тепловозу. •

Система автоводіння вантажного поїзда, веденого тепловозом ТЕЗ, пройшла в 1972 р. випробування на Жовтневій дорозі. У зв'язку з тим, що неавтоматизовані процеси розгону і гальмування вантажного поїзда, при експлуатації даної системи буде потрібно застосування спеціальних датчиків, за якими система повинна включатися в роботу після розгону поїзда машиністом і вимикатися перед гальмуванням. Неповна автоматизація процесу ведення поїзда впливатиме на точність виконання графіка руху поїздів.

Аналіз автономних САВП показує, що найбільшого поширення набули двопрограмні САВП, які дещо простіше трьохпрограмних і задовольняють вимогам точності виконання графіка руху, що пред'являються в даний час. У разі підвищення вимог до точності виконання графіка руху поїзда та іншим параметрам якості управління може виникнути необхідність у застосуванні трьохпрограмного САВП.

У Росії розроблені автономні системи автоводіння для електропоїздів, пасажирських і вантажних поїздів. Таким чином, підготовлена необхідна база для переходу до другого етапу автоматизації процесу управління рухом поїздів на залізницях - розробці централізованої системи автоводіння усіма поїздами на ділянці шляху.

У технічній літературі є численні повідомлення про експлуатацію систем автоводіння поїздів на залізницях Японії, США, Канади, Франції тощо, але всі вони

стосуються, головним чином, пасажирських перевезень на спеціальних, так званих ізольованих лініях. Однак застосовувати систему автоведення тільки для одного поїзда недоцільно, оскільки на ділянці може бути безліч поїздів і кожен з них впливає на рух, а на одноколійних ділянках - і зустрічних поїздів. Автоблокування і автоматична локомотивна сигналізація діють односторонньо, запобігаючи зближенню поїзда з попереднім. Сигнали автоблокування розставляють таким чином, щоб інтервал між поїздами при русі їх з розрахунковою швидкістю відповідав розрахунковому. Поїзд повинен рухатися по перегону так, щоб до моменту його вступу на блок-ділянку на світлофорі горіло зелене вогонь; при будь-якому іншому вогні виникає необхідність зниження швидкості. Якщо режим ведення поїзда відхилився від розрахункового, покладеного в основу розстановки сигналів автоблокування, це вплине відповідним чином на режим слідом рухаючого поїзда. Ще складніше взаємодія між поїздами різних категорій, наприклад пасажирських і вантажних: необхідно враховувати різницю в їх масі, швидкості руху, серіях локомотивів.

У зв'язку з цим найбільш ефективним стає застосування централізованих систем автоматичного управління рухом поїздів. Ці системи отримують і переробляють інформацію про параметри руху всіх поїздів на лінії і управляють кожним поїздом відповідно до отриманої інформації і необхідної програми руху. У порівнянні з автономною системою автоматичного управління централізовані системи володіють великими можливостями, так як, маючи інформацію про становище всіх поїздів на лінії, можуть більш гнучко компенсувати виникаючі відхилення від прийнятої програми. Однак технічна реалізація централізованих систем значно складніша; крім того, потрібні канали зв'язку між усіма поїздами на лінії і центральним постом управління. Впровадження централізованих систем автоматичного управління рухом поїздів починалося на Московському, Санкт-Петербурзькому, Харківському та Ташкентському метрополітенах. Це пояснюється невеликою протяжністю ліній і відповідно каналів зв'язку, однотипністю рухомого складу, відносною простотою управління поїздом, ізольованістю від зовнішніх впливів. На магістральних залізничних лініях рухаються різноманітні вантажні,

приміські та пасажирські поїзди з різними часами ходу, допустимими швидкостями руху, режимами ведення. Виконати централізовані системи в цих умовах значно складніше. Внаслідок великої протяжності ліній збільшується обсяг і вартість апаратури передачі даних, необхідність управляти рухом різнотипних поїздів викликає різке збільшення обсягу інформації, а це підвищує вимоги до швидкодії керуючих ЕОМ, веде до збільшення їх числа. Вибір режиму ведення пасажирського або приміського і особливо вантажного поїзда-складна багатоваріантна задача. Удосконалення систем автоведення та розширення їх можливостей аж до обліку мінливих умов на ділянці можливі на базі застосування мікропроцесорів, за допомогою яких можна самостійно вирішувати задачу ведення поїзда, підвищити надійність роботи всієї системи.

Використовуючи сучасні технічні засоби мікроелектроніки та обчислювальної техніки, накопичений досвід створення систем автоведення, вчені ВНИИЖТа та інших інститутів створили централізовану комплексну систему управління рухом поїздів на ділянці (КСАУДП), яка проходить випробування на Московській дорозі. Складовою частиною КСАУДП є система автоматичного управління поїздами, призначена для автоматизації процесу управління водінням поїзда, включаючи пуск і розгін, вибір режиму ведення поїзда по перегонам, гальмування у платформ для зупинки, а також регулювальні гальмування. З системою автоматичного управління поїздами безпосередньо пов'язані такі системи забезпечення безпеки, як система автоматичного управління гальмами (САУГ), система автоматичної локомотивної сигналізації (АЛС), система інтервального регулювання та ін, а також пристрої внутрішньої локомотивної (поїзної) автоматики - пристрої автоматичного пуску, виконавчі пристрої, регулятори швидкості, пристрої гальмування, протівобоксовочніе і протигазну пристрою. Частина пристроїв системи автоматичного управління рухом поїздів розташовується на локомотиві (бортові поїзні пристрої), частина - на центральному посту управління, частина - на станціях ділянки.

Найбільші складнощі викликає створення системи автоматичного керування вантажними поїздами, оскільки такий поїзд як об'єкт управління володіє рядом

специфічних особливостей, що створюють значні труднощі для автоматизації процесу його ведення. До їх числа слід віднести значний розкид маси поїзда (від порожнякових до великовагових поїздів), складність автоматизації процесів гальмування при використанні пневматичних гальм поїзда, складність вимірювання пройденого шляху і швидкості внаслідок ефектів боксування і юза колісних пар та ін.

1.3 Сучасні моделі автоматизації руху поїздів

У роботі [9] запропоновано удосконалений метод розрахунку режимів управління тягою за даними дослідних поїздок, заснований на методах нечіткого управління.

Розглянуто задачу вибору раціонального режиму тяги локомотива на основі побудови бази нечітких правил експертних систем за даними дослідних поїздок та формування і організації управління тягою на основі методів нечіткого виводу. Такі правила управління враховують відхилення фактичних станів процесів управління від оптимальної режимної карти для еталонного випадку, розрахованої для поїзда заданої маси на заданому перегоні (еталонний режим). Еталонними режимами служать дані про фактичні поїздки. Для побудови баз нечітких правил управління тягою поїзда використовувалися методи моделювання. Формувалися і реалізувалися програмним шляхом набори дослідних поїздок, де використовувалися розрахунки режимів тяги поїздів з різними масами, різним напругою на струмоприймачі, при різних обмеженнях по швидкості і зміною дру- гих параметрів.

При формуванні правил встановлені такі параметри :

ΔT - різниця за часом руху на ділянці « 1 », для характеристики якого введені значення нечітких величин T_r : « відставання (сильне, слабке, відсутній) » і « випередження (відсутній, слабке, сильне) »,

ΔV - відхилення швидкості для ділянки « 1 », величина U_r із значеннями: « силь -ве, відсутня, слабке ».

ΔM - різниця маси поїзда дослідної траєкторії і потяги з еталонної поїздки, величина M_p .

B_i - ділянку шляху, або номери пікетів, величина B_p , де $i = 0, 1.. p$ - це кількість точок дослідної траєкторії для одного перегону.

Нечіткі правила налагоджують на основі еталонних розрахункових даних :

ЯКЩО [$X_N = A$] то $Y = K$

де K - кількість позицій контролера, щодо поточного положення, які забезпечують управління, близьке до оптимального на деякій 1 - тій ділянці шляху. При побудові моделі управління у вигляді нечітких правил використана робота, коли кожна нечітка характеристика апроксимується N нечіткими величинами з трикутними функції приналежності. Для нечіткої характеристики задані мінімальне і максимальне значення, інтервалу, в яких знаходяться її допустимі значення. Апроксимуючі величини мали трикутну модель ступенів приналежності: вершина лежить в центрі, їй відповідає ступінь приналежності 1, а дві інші вершини по боках від неї зі ступенями приналежності 0. Нечіткий висновок ґрунтується на правилі нечіткої імплікації, побудованому на правилі Мамдані.

Запропонований у роботі [9] метод побудови режимних карт тягне за собою велику кількість експериментальних поїздок для збору статистичної інформації про управління складом. Це передбачає фінансові витрати на збір інформації та людської - на її обробку та складання бази даних, необхідної для створення моделі нечіткої логіки. Також модель Мамдані передбачає на виході моделі нечіткі рішення в лінгвістичних змінних, в той час, як машиністу при управлінні необхідний точний момент часу і точний номер позиції контролера машиніста, на яку необхідно перемкнутися. Тому більш доречно модель Сугено, на виході якої можливо тільки чітко позначене чисельне рішення.

У роботі [10] вперше запропоновано розглядати довгоскладний потяг як багатомасову механічну систему, що складається з декількох десятків (а іноді й сотень) взаємодіючих між собою екіпажів (локомотивів або вагонів) з нелінійними і

нелінеарізуемими зв'язками між ними. Додатковим фактором є те, що в процесі руху на різні екіпажі у складі одного поїзда діють різні за величиною і напрямком зовнішні сили, що представляють собою рівнодіючі сил опору руху, складових сили тяги або гальмування, а також реакцій в міжвагонних з'єднаннях. Все це призводить до виникнення поздовжніх коливань в поїзді. Величини поздовжніх динамічних сил при цьому можуть перевищити величину сили тяги, реалізовану локомотивом. У результаті дослідження розроблено математичну модель системи керування швидкістю руху, що включає в себе моделі вантажного поїзда, вимірювального тракту і пристрої керування. Для врахування особливостей протікання динамічних процесів у вантажному поїзді використана вагонними, дискретна модель поїзда, що дозволяє врахувати характеристики екіпажів, що входять до складу, а також міжвагонних сполук. Останні є нелінійними, нелінеарізуемими елементами з гістерезисом. Нелінійним виразом описується і взаємозв'язок між швидкістю руху вагонів і локомотивів з величиною опору руху, що впливає на кожен екіпаж поїзда. Всього для опису поведінки кожного екіпажу в складі поїзда використовується система десяти диференціальних та алгебраїчних рівнянь.

Цей підхід найбільш точно описує поведінку потяга на ділянці руху, однак такий розрахунок повинен виконуватися у центральному обчислювальному центрі, а не безпосередньо під час руху. Це потребує більших поточних витрат і може додавати неточності до розрахунку, зважаючи на те, що у самому процесі руху деякі фактори, наприклад, швидкість і напрямок вітру, значення світлофорів на наступних ділянках та ін., можуть змінюватись.

1.4 Висновки до розділу 1

Проведено аналіз існуючих систем і моделей автоматичного ведення поїзду. Виявлено, що сучасні погляди на автоматичне водіння поїздів засновуються на моделях нечіткої логіки, але мають певні недоліки, пов'язані з неточністю вимірювання параметрів руху поїздів та реалізацією моделі автоматичного ведення поїзду. У зв'язку з цим поставлено наступні задачі:

1. Удосконалити ідентифікацію параметрів руху для більш точного їх вимірювання.
2. Удосконалити існуючі нечіткі моделі управління тягою поїзду за рахунок використання адаптивних нейронечітких моделей.
3. Створити інформаційну основу вирішення задачі управління тягою поїзду на ділянці руху.

РОЗДІЛ 2

МАТЕМАТИЧНЕ ТА ІНФОРМАЦІЙНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РОЗРОБКИ МОДЕЛІ

2.1. Математичний апарат реалізації моделі

Основи нечіткої логіки були закладені в кінці 60-х років в роботах відомого американського математика Латфі Заде[11]. Дослідження такого роду було викликано зростаючим невдоволенням експертними системами. Для створення дійсно інтелектуальних систем, здатних адекватно взаємодіяти з людиною, був необхідний новий математичний апарат, який переводить неоднозначні життєві твердження в мову чітких і формальних математичних формул. Першим серйозним кроком у цьому напрямку стала теорія нечітких множин, розроблена Заде. Його робота «FuzzySets», опублікована в 1965 році в журналі «InformationandControl», заклала основи моделювання інтелектуальної діяльності людини і стала початковим поштовхом до розвитку нової математичної теорії. Він же дав і назву для нової галузі науки - «fuzzylogic».

Прикметник «fuzzy», який можна перекласти на українську мову як нечіткий, розмитий, м'який, ворсистий, пухнастий, введено в назву нової теорії з метою дистанціювання від традиційної чіткої математики і аристотелевої логіки, що оперують з чіткими поняттями: «належить-не належить», «істина-брехня». Концепція нечіткої множини зародилася у Л. Заде «як незадоволеність математичними методами класичної теорії систем, яка змушувала домагатися штучної точності, недоречною в багатьох системах реального світу, особливо в так званих гуманістичних системах, що включають людей».

Апарат теорії нечітких множин, продемонструвавши ряд багатообіцяючих можливостей застосування - від систем керування літальними апаратами до прогнозування підсумків виборів, виявився водночас складним для

втілення. Враховуючи наявний рівень технології, нечітка логіка зайняла своє місце серед інших спеціальних наукових дисциплін - десь посередині між експертними системами і нейронними мережами[12].

Своє друге народження теорія нечіткої логіки пережила на початку вісімдесятих років, коли кілька груп дослідників (в основному в США і Японії) всерйоз зайнялися створенням електронних систем різного застосування, що використовують нечіткі керуючі алгоритми. Теоретичні основи для цього були закладені в ранніх роботах Коско та інших вчених.

Третій період почався з кінця 80-х років і продовжується до сьогодні. Цей період характеризується бумом практичного застосування теорії нечіткої логіки в різних сферах науки і техніки. Взявши старт в 1965 році за минулий час нечітка логіка пройшла шлях від майже антинаукової теорії, практично відкинутаї в Європі, до дев'яностих років, коли з'явилося близько 40 патентів, що відносяться до нечіткої логіки (30 з них - японські). Сорок вісім японських компаній створюють лабораторію LIFE (Laboratory for International Fuzzy Engineering), японський уряд фінансує 5-річну програму по нечіткій логіці, яка включає 19 різних проектів - від систем оцінки глобального забруднення атмосфери і передбачення землетрусів до АСУ заводських цехів. Результатом виконання цієї програми була поява цілого ряду нових масових мікрочипів, що базуються на нечіткій логіці. Сьогодні їх можна знайти в пральних машинах і відеокамерах, цехах заводів і моторних відсіках автомобілів, в системах управління складськими роботами і бойовими вертольотами.

У США розвиток нечіткої логіки йде по шляху створення систем для великого бізнесу і військових. Нечітка логіка застосовується при аналізі нових ринків, біржовій грі, оцінці політичних рейтингів, виборі оптимальної цінової стратегії і т.п. З'явилися і комерційні системи масового застосування.

Зсув центру досліджень нечітких систем у бік практичних застосувань привело до постановки цілого ряду проблем, зокрема:

- нові архітектури комп'ютерів для нечітких обчислень;
- елементна база нечітких комп'ютерів і контролерів;

- інструментальні засоби розробки;
- інженерні методи розрахунку і розробки нечітких систем управління, і т.п.

Теорія нечітких систем. Класична логіка оперує тільки двома поняттями: «істина» і «брехня», і виключаючи будь-які проміжні значення. Аналогічно цьому булева логіка не визнає нічого крім одиниць і нулів.

Діапазон застосування дуже широкий - від побутових приладів до управління складними промисловими процесами. Багато сучасні завдання управління просто не можуть бути вирішені класичними методами через дуже великої складності описують їх математичних моделей. Разом з тим, щоб використовувати теорію нечіткості на цифрових комп'ютерах, необхідні математичні перетворення, що дозволяють перейти від лінгвістичних змінних до їх числовим аналогам в ЕОМ.

З розробок штучного інтелекту завоювали стійке визнання експертні системи, як системи підтримки прийняття рішень. Вони здатні акумулювати знання, отримані людиною в різних областях діяльності. За допомогою експертних систем вдається вирішити багато сучасні завдання, в тому числі і завдання управління. Одним з основних методів представлення знань в експертних системах є продукційні правила, що дозволяють наблизитися до стилю мислення человека. Обично продукційне правило записується у вигляді: «ЯКЩО (посилка) (зв'язка) (посилка)... (посилка) ТО (висновок)». Можливо наявність декількох посилок в правилі, в цьому випадку вони об'єднуються за допомогою логічних зв'язок «І», «АБО».

Нечіткі системи теж засновані на правилах продукційного типу, проте в якості посилок і укладання в правилі використовуються лінгвістичні змінні, що дозволяє уникнути обмежень, властивих класичним продукційним правилам.

Нечіткі системи управління Нечітка система (НС) - це система, особливістю опису якої є:

- нечітка специфікація параметрів;
- нечітке опис вхідних і вихідних змінних системи;
- нечітке опис функціонування системи на основі продукційних «ЯКЩО... ТО...» правил.

Найважливішим класом нечітких систем є нечіткі системи управління (НСУ). Одним з найважливіших компонентів НСУ є база знань, яка представляє собою сукупність нечітких правил «ЯКЩО-ТО», що визначають взаємозв'язок між входами і виходами досліджуваної системи. Існують різні типи нечітких правил: лінгвістична, реляційна, модель Takagi-Sugeno.

Для багатьох додатків, пов'язаних з управлінням технологічними процесами, необхідна побудова моделі розглянутого процесу. Знання моделі дозволяє підібрати відповідний регулятор (модуль управління). Однак часто побудова коректної моделі являє собою важку проблему, що вимагає іноді введення різних спрощень. Застосування теорії нечітких множин для управління технологічними процесами передбачає знання моделей цих процесів. Слід тільки сформулювати правила поведінки у формі нечітких умовних висновків типу «ЯКЩО - ТО».

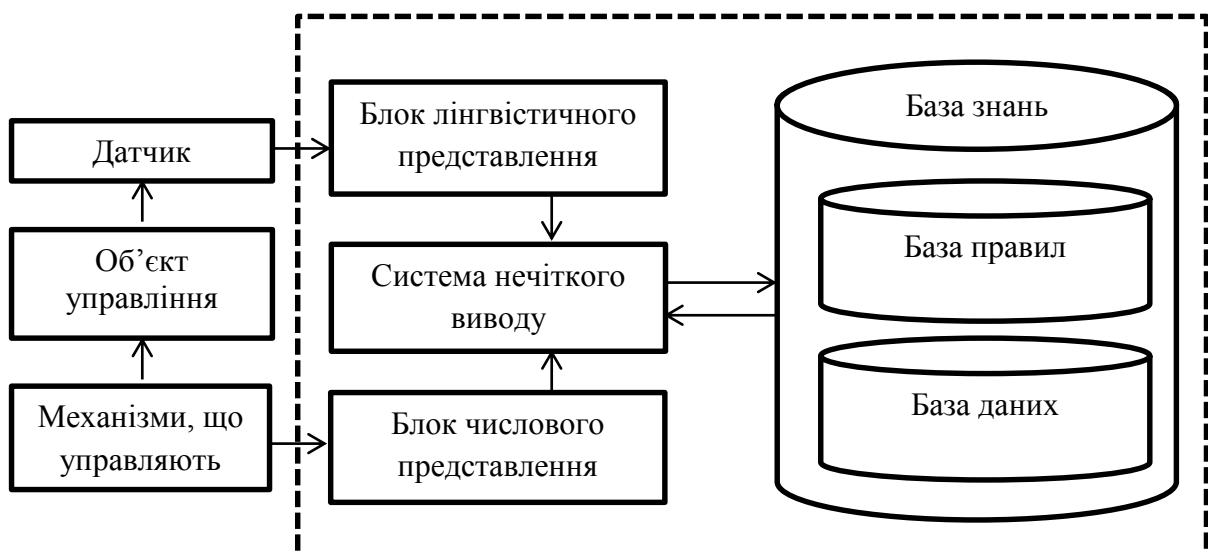


Рисунок 2.1 Структура нечіткої системи управління

Процес управління системою безпосередньо пов'язаний з вихідної змінної нечіткої системи управління, але результат нечіткого логічного висновку є нечітким, а фізична виконавче пристрій не здатний сприйняти таку команду. Необхідні спеціальні математичні методи, що дозволяють переходити від нечітких значень величин до цілком певних. У цілому весь процес нечіткого управління можна розбити на кілька стадій: фазифікації, розробка нечітких правил і дефазифікації.

Фазифікації (перехід до нечіткості)

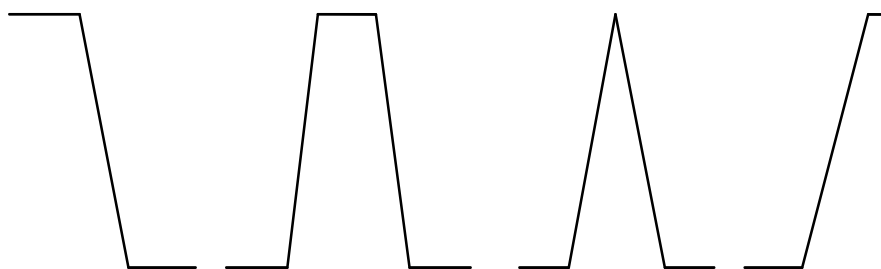
На даній стадії точні значення вхідних змінних перетворюються в значення лінгвістичних змінних за допомогою застосування деяких положень теорії нечітких множин, а саме - за допомогою певних функцій приналежності.

Лінгвістичні змінні

У нечіткій логіці значення будь-якої величини подаються не числами, а словами природної мови і називаються «термами». Так, значенням лінгвістичної змінної «Дистанція» є терми «Далеко», «Близько» і т. д. Для реалізації лінгвістичної змінної необхідно визначити точні фізичні значення її термів. Припустимо змінна «Дистанція» може приймати будь-яке значення з діапазону від 0 до 60 метрів. Згідно з положеннями теорії нечітких множин, кожному значенню відстані з діапазону в 60 метрів може бути поставлено у відповідність деяке число, від нуля до одиниці, яке визначає ступінь приналежності даного фізичного значення відстані (припустимо, 10 метрів) до того чи іншого терму лінгвістичної змінної «Дистанція». Тоді віддалі в 50 метрів можна задати ступінь приналежності до терму «Далеко», рівну 0,85, а до терму «Близько» - 0,15. Переймаючись питанням, скільки всього термів в змінної необхідно для досить точного уявлення фізичної величини прийнято вважати, що достатньо 3-7 термів на кожен перемінну для більшості додатків

Функції належності

Належність кожного точного значення до одного з термів лінгвістичної змінної визначається за допомогою функції належності. Її вигляд може бути абсолютно довільним, проте сформувалося поняття так званих стандартних функцій належності



Z – функція П – функція Л – функція S – функція

Рисунок 2. 2 Стандартні функції належності

Стандартні функції приналежності легко застосовні до вирішення більшості завдань. Однак якщо належить вирішувати специфічну завдання, можна вибрати і більш відповідну форму функції приналежності, при цьому можна добитися кращих результатів роботи системи, ніж при використанні функцій стандартного виду.

Розробка нечітких правил

На цій стадії визначаються продукційні правила, що зв'язують лінгвістичні змінні. Більшість нечітких систем використовують продукційні правила для опису залежностей між лінгвістичними змінними. Типове продукційне правило складається з антецедента (частина ЯКЩО...) і консеквента (частина ТО...). Антецедент може містити більше однієї посилки. У цьому випадку вони об'єднуються за допомогою логічних зв'язок «І» або «АБО».

Процес обчислення нечіткого правила називається нечітким логічним висновком і підрозділяється на два етапи: узагальнення і висновок.

Нехай ми маємо наступне правило:

ЯКЩО «Дистанція» = середня І «Кут» = малий, ТО «Потужність» = середня.

На першому кроці логічного висновку необхідно визначити ступінь приналежності всього антецедента правила. Для цього в нечіткій логіці існують два оператора: $\text{Min}(\dots)$ і $\text{Max}(\dots)$. Перший обчислює мінімальне значення ступеня належності, а другий - максимальне значення. Коли застосовують той чи інший оператор, залежно від того, яким зв'язком з'єднані посилки в правилі. Якщо використана зв'язка «І», застосовується оператор $\text{Min}(\dots)$. Якщо ж посилки об'єднані зв'язкою «Або», необхідно застосувати оператор $\text{Max}(\dots)$. Ну а якщо в правилі всього одна посилка, оператори зовсім не потрібні.

Наступним кроком є власне висновок. Подібним же чином за допомогою операторів Min/Max вираховується значення консеквента. Вихідними даними служать обчислені на попередньому кроці значення ступенів належності антецедентів правил.

Після виконання всіх кроків нечіткого висновку ми знаходимо нечітке значення керуючої змінної. Щоб виконавчий пристрій змогло відпрацювати

отриману команду, необхідний етап управління, на якому ми позбавляємося від нечіткості і який називається дефаззіфікації.

Дефаззіфікації (усунення нечіткості)

На цьому етапі здійснюється перехід від нечітких значень величин до певних фізичних параметрах, які можуть служити командами виконавчому пристрою.

Найпростішим способом виконання процедури дефаззіфікації є вибір чіткого числа, відповідного максимуму функції належності. Однак придатність цього способу обмежується лише одне екстремальними функціями належності. Для усунення нечіткості остаточного результату існує кілька методів: метод центру максимуму, метод найбільшого значення, метод центроїда та інші. Для багатоекстремального функцій приналежності найбільш часто використовується дефаззіфікації шляхом знаходження центра ваги плоскої фігури, обмеженої осями координат і функцією належності.

Представлення роботи нечітких моделей

Завдання ідентифікації математичної моделі

У техніці, економіці, політиці, соціології, медицині, біології і в інших областях часто виникає завдання побудови математичної моделі за результатами спостережень, або завдання ідентифікації (процесів, систем). У тих випадках, коли синтезовані моделі базуються на експертних лінгвістичних висловлюваннях типу «Якщо інфляційні очікування - високі, і політична ситуація- нестабільна, і стан економіки - кризовий, то курс національної валюти - сильно впаде», основним інструментом побудови моделей є методи нечіткої логіки. Використання лінгвістичних правил «ЯКЩО-ТО» дозволяє значно знизити обсяг експериментальних даних, необхідних для якісної ідентифікації.

Ідентифікація, тобто побудова математичної моделі за результатами спостережень, є важливим завданням, що виникає у всіх галузях науки. У сучасній теорії ідентифікації все більш важливу роль починають грати методи, які залучають лінгвістичну інформацію при побудові моделей нелінійних залежностей. Одним з найбільш розроблених в інженерному відношенні інструментів обліку лінгвістичної інформації є теорія нечітких множин та нечітка логіка.

Роботи з ідентифікації нелінійних залежностей на основі нечітких множин і нечіткої логіки інтенсивно проводяться за кордоном з 90-х років. Серед російськомовних публікацій виділимо монографії та серію статей професора А. П. Ротштейна, в яких розроблений метод двохетапної ідентифікації нелінійних залежностей за допомогою нечітких баз знань. Перший етап - структурна ідентифікація - представляє собою формування нечіткої бази знань, яка грубо відображає взаємозв'язок між входами і виходом за допомогою лінгвістичних правил «ЯКЩО-ТО». Лінгвістичні правила генеруються експертом або виходять в результаті екстракції нечітких знань з експериментальних даних. На другому етапі проводиться параметрична ідентифікація досліджуваної залежності шляхом знаходження таких параметрів нечіткої бази знань, які мінімізують відхилення модельних та експериментальних результатів.

Моделі нечіткого логічного висновку

Нечіткий логічний висновок - це апроксимація залежності «входи-вихід» на основі лінгвістичних висловлювань типу «ЯКЩО-ТО» і операцій над нечіткими множинами. Нечітка модель містить такі блоки:

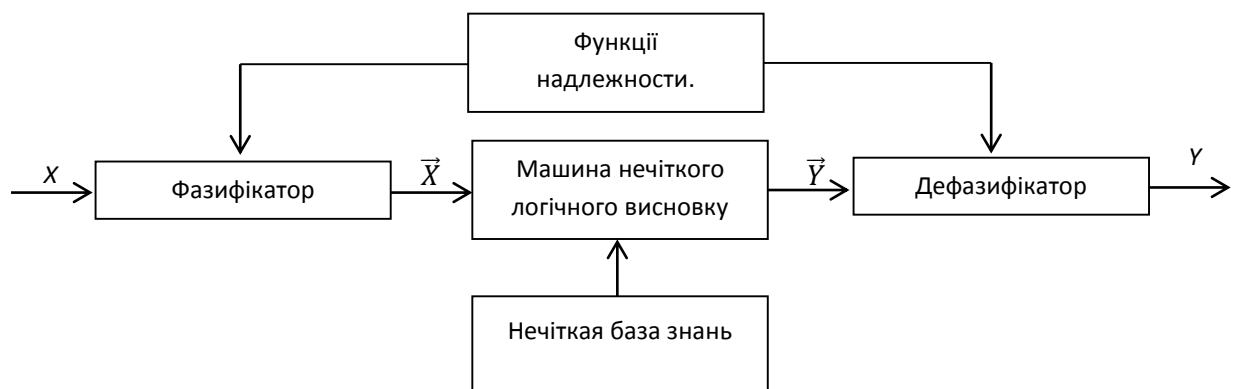


Рисунок 2.3 Структура нечіткої моделі.

- фаззіфікатор, що перетворює фіксований вектор факторів, що впливають X у вектор нечітких множин, необхідних для виконання нечіткого логічного висновку;

- нечітка база знань, що містить інформацію про залежність $Y = f(X)$ у вигляді лінгвістичних правил типу «ЯКЩО-ТО»;
- машина нечіткого логічного висновку, яка на основі правил бази знань визначає значення вихідної змінної у вигляді нечіткої множини, відповідного нечітким значенням вхідних змінних;
- дефаззифікатор, що перетворює вихідну нечітку безліч в чітке число Y .

Нечітка модель типу Мамдані

У моделі типу Мамдані[13] взаємозв'язок між входами $X = (x_1, x_2, \dots, x_N)$ і виходом у визначається нечіткою базою знань наступного формату:

$$\begin{aligned}
 & \text{ЯКЩО } (x_1 = a_{1,j1}) \text{ ТА } (x_2 = a_{2,j1}) \text{ ТА } \dots \text{ ТА } (x_n = a_{n,j1}) \\
 & \text{АБО } (x_1 = a_{1,j2}) \text{ ТА } (x_2 = a_{2,j2}) \text{ ТА } \dots \text{ ТА } (x_n = a_{n,j2}) \quad (2.1) \\
 & \text{АБО } (x_1 = a_{1,jp}) \text{ ТА } (x_2 = a_{2,jp}) \text{ ТА } \dots \text{ ТА } (x_n = a_{n,jp}) \\
 & \text{ТО } y = d_j, j = \overline{1, m}
 \end{aligned}$$

де $A_{i,jp}$ - лінгвістичний терм, якими оцінюється змінна X_i у рядку з номером jp ($p = \overline{1, k_j}$); k_j — кількість рядків-кон'юнкцій, в которих вихід у оцінюється лінгвістичним термом D_j ; m - кількість термів, використовуваних для лінгвістичної оцінки вихідної змінної y .

За допомогою операцій \cup (АБО) і \cap (І) нечітку базу знань перепишемо у більш компактному вигляді:

$$\bigcup_{p=1}^{k_j} \bigcap_{i=1}^n (x_i = a_{i,jp}) \rightarrow y = d_j, j = \overline{1, m}. \quad (2.2)$$

Всі лінгвістичні терми в базі знань представляються як нечіткі множини, задані відповідними функціями належності.

Нечітка база знань може трактуватися як деякий розбиття простору впливають факторів на підобласті з розмитими межами, в кожній з яких функція відгуку приймає значення, задане соответствующім нечітким безліччю. Правило в базі знань являє собою «інформаційний згусток», що відображає одну з особливостей

залежності « входи-вихід ». Такі « згустки насиченою інформації » або « гранули знань » можуть розглядатися як аналог вербального кодування, яке, як встановили психологи, відбувається в людському мозку при навчанні. Мабуть тому формування нечіткої бази знань у конкретній предметній області, як правило, не складає труднощів для експерта.

Введемо наступні позначення:

$\mu_{j,p}(X_i)$ - функція приналежності входу X_i нечіткому терму

$a_{i,j,p}$, $i = \overline{1, n}$, $j = \overline{1, m}$, $p = \overline{1, k_j}$, тобто

$$\tilde{a}_{ij} = \int_{x_i \in [\underline{x}_i, \bar{x}_i]} \mu_j(x_i) / x_i \quad (2.3)$$

- Функція приналежності виходу у нечіткому терму d_j , $j = \overline{1, m}$, тобто

$$\tilde{d}_j = \int_{y \in [\underline{y}, \bar{y}]} \mu_{d_j}(y) / y \quad (2.4)$$

Ступінь приналежності вхідного вектора $X^* = (x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*)$ нечітким термам d_j з бази знань визначається наступною системою нечітких логічних рівнянь:

$$\mu_j(X^*) = w_j (\mu_j(x_1^*) \wedge x_2^* \wedge \dots \wedge x_n^*), \quad j = \overline{1, m}, \quad (2.5)$$

Найбільш часто використовуються наступні реалізації: для операції АБО - знаходження максимуму, для операції І - знаходженіє мінімуму.

Нечітка множина \tilde{y} , відповідне вхідному вектору X^* , визначається таким чином:

$$\tilde{d}_j^* = \text{imp}(\tilde{d}_j, \mu_j(X^*)), \quad j = \overline{1, m}, \quad (2.6)$$

де imp - імплікація, зазвичай реалізовується як операція знаходження мінімуму; agg - агрегування нечітких множин, яке найбільш часто реалізується операцією знаходження максимуму.

Чітке значення виходу y , відповідне вхідному вектору X^* , визначається в результаті дефаззифікації нечіткої множини. Найбільш часто застосовується дефаззифікація за методом центру ваги:

$$y^* = \frac{\int_{\underline{y}}^{\bar{y}} y \mu_{y^*}(y) dy}{\int_{\underline{y}}^{\bar{y}} \mu_{y^*}(y) dy} \quad (2.7)$$

Нечітка модель типу Сугено

На сьогоднішній день існує кілька моделей нечіткого управління, однією з яких є модель Такагі-Сугено.

Модель Такагі-Сугено іноді носить називання Takagi-Sugeno-Kang. Причина полягає в тому, що цей тип нечіткої моделі був спочатку запропонований Takagi і Sugeno. Однак Канг і Сугено провели чудову роботу над ідентифікацією нечіткої моделі. Звідси і походження назви моделі.

У моделі типу Сугено взаємозв'язок між входами $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ і виходом y задається нечіткою базою знань виду:

$$\bigcup_{j=1}^{k_j} \bigcap_{i=1}^n (x_i = a_{i,j}) \rightarrow y = b_{j,0} + b_{j,1} \cdot x_1 + b_{j,2} \cdot x_2 + \dots + b_{j,m} \cdot x_m, \quad j = \overline{1, m}, \quad (2.8)$$

де $b_{j,i}$ - деякі числа.

База знань аналогічна за винятком висновків правил, D_j які задаються не нечіткими термами, а лінійною функцією від входів:

$$d_j = b_{j,0} + \sum_{i=1}^n b_{j,i} \cdot x_i \quad (2.9)$$

Таким чином, база знань в моделі типу Сугено є гібридною - її правила містять посилки у вигляді нечітких множин та укладення у вигляді чіткої лінійної функції. База знань може трактуватися як деякий розбиття простору впливають факторів на нечіткі підобласті, в кожній з яких значення функції відгуку розраховується як лінійна комбінація входів. Правила є свого роду перемикачами з одного лінійного закону «входи-вихід» на інший, теж лінійний. Межі підобластей розмиті, отже, одночасно можуть виконуватися кілька лінійних законів, але з різними вагами. Результуюче значення виходу у визначається як суперпозиція лінійних залежностей, які виконуються в даній точці X^* n -мірного факторного простору. Це може бути зважене середнє

$$y = \frac{\sum_{j=1}^m \mu_j(X^*) \cdot d_j}{\sum_{j=1}^m \mu_j(X^*)} \quad (2.10)$$

або зважена сума

$$y = \sum_{j=1}^m \mu_j(X^*) \cdot d_j \quad (2.11)$$

Значення розраховуються як і для моделі типу Мамдан.. Звернемо увагу, що в моделі Сугено в якості операцій \wedge та \vee зазвичай використовуються відповідно вірогідносне АБО і множення. У цьому випадку нечітка модель типу Сугено може розглядатися як особливий клас багат шарових нейронних мереж прямого поширення сигналу, структура якої ізоморфна базі знань. Такі мережі отримали назву нейро-нечітких.

Моделі типу Мамдані і типу Сугено будуть ідентичними, коли укладення правил заданих чіткими числами, тобто у разі, якщо:

1) терми D_j вихідної змінної в моделі типу Мамдані задаються Сінгלטон - нечіткими аналогами чітких чисел. У цьому випадку ступеня приладдя для всіх елементів універсальної множини рівні нулю, за винятком одного зі ступенем приналежності рівній одиниці;

2) укладення правил в базі знань моделі типу Сугено задані функціями, в яких всі коефіцієнти при вхідних змінних дорівнюють нулю.

Усе ще невирішеною науковою задачею залишається автоматична екстракція з даних нечітких правил, близьких за своїми властивостями до експертних, тобто корисних, достовірних, цікавих, нових і зрозумілих не тільки математикам. Це стосується насамперед до бази знань моделі типу Мамдані, так як прозорість правил моделі типу Сугено, тобто можливість їх змістовної інтерпретації користувачем, є досить низькою. Будемо припускати, що крім числових пар «входи-вихід» існує ще й лінгвістична інформація про ідентифікованій залежності у формі експертних висловлювань. Позначимо через I вектор параметрів функцій приладдя термів вхідних змінних, через O - вектор параметрів функцій приладдя термів вихідної змінної моделі типу Мамдані і через B - вектор коефіцієнтів лінійних функцій у висновках правил в моделі типу Сугено. Тоді параметрична ідентифікація зводиться до наступної задачі математичного програмування:

- для моделі типу Мамдані- знайти такий вектор (I, O) , щоб

$$\frac{1}{M} \sum_{j=1}^M (y_j - F(I, O, X_j))^2 \rightarrow \min;$$

- для моделі типу Сугено - знайти такий вектор (I, B) , щоб

$$\frac{1}{M} \sum_{j=1}^M (y_j - F(I, B, X_j))^2 \rightarrow \min.$$

Таким чином, у системах типу Мамдані база знань складається з правил виду "Якщо x_1 = низький і x_2 = середній, то y = високий". У системах типу Сугено база знань складається з правил виду "Якщо x_1 = низький і x_2 = середній, то $y = a_0 +$

$a_1x_1 + a_2x_2$ ". Таким чином, основна відмінність між системами Мамдані і Сугено полягає в різних способах завдання значень вихідної змінної в правилах, що утворюють базу знань. у системах типу Мамдані значення вихідної змінної задаються нечіткими термами, в системах типу Сугено - як лінійна комбінація вхідних змінних.

Порівнявши дві моделі вирішення задач за допомогою нечіткої логіки для формування системи автоматизованого управління тягою поїзду, зважаючи на те, що у результаті повинно бути виведене конкретне значення контролеру машиніста, доцільно вибрати модель Сугено.

2.2 Радіочастотна ідентифікація як інформаційне забезпечення розробки моделі

Радіочастотна ідентифікація (Radio Frequency Identification, скорочено RFID) - це сучасна прогресивна технологія автоматичної ідентифікації, що дозволяє автоматизувати процес збору та обробки інформації безконтактним способом. Галузі застосування даної технології обширні. Вона використовується, щоб ідентифікувати і виявити необмежену кількість людей і різних предметів, будь-то гірничорятувальники ГС-10 і контейнери, документи і одяг, транспортні засоби та і так далі. Вона може бути використана для автоматизації виробничих процесів, автоматизації систем управління, організації систем контролю доступу та систем безпеки, контролю та обліку робочого часу, побудови дисконтних і логістичних систем, захисту товарів та документів від підробок.

RFID - безконтактна технологія, носієм інформації є радіохвиля. Для забезпечення роботи системи не потрібно ні контакту зі зчитувачем, ні прямої видимості зчитувача на відміну від систем з використанням штрих-кодування, магнітних і smart карт). Надійна робота гарантована при роботі в агресивних середовищах і несприятливих кліматичних умовах.

Принцип роботи RFID-систем

Для того, щоб зрозуміти, за яким принципом працюють системи радіочастотної ідентифікації, розглянемо найпростішу схему, що складається з двох основних компонентів (рисунок)

1. Зчитує (зчитувач або рідер)

2. Мітка (тег від англ. Tag) - носій інформації - зазвичай включає в себе приймач, передавач, антену і блок пам'яті для зберігання інформації, далі ми докладніше розглянемо різні види радіочастотних міток.

Антену зчитувача випромінює електромагнітні хвилі, за рахунок цього здійснюється харчування мітки, в результаті чого мітка активізується і передає інформацію зчитує. Основні компоненти тега - інтегральна схема (чип), керуюча зв'язком зі зчитувачем і антеною. Чип має пам'ять, яка зберігає ідентифікаційний код або інші дані. Немає ніякої потреби в контакті або прямої видимості між зчитувачем і міткою, оскільки радіосигнал легко проникає через багато матеріалів. Таким чином, мітки можуть бути приховані усередині тих об'єктів, які підлягають ідентифікації.

Радіочастотна мітка зазвичай включає в себе приймач, передавач, антену і блок пам'яті для зберігання інформації. Приймач, передавач і пам'ять конструктивно виконуються у вигляді окремої мікросхеми (чіпа), тому зовні здається, що радіочастотна мітка складається всього з двох частин: мнговиткової антени і чіпа (див. на малюнку). Іноді до складу конструкції мітки включається джерело живлення (наприклад, літієва батарея).

Мітки з джерелами живлення називаються активними (Active). Дальність прочитування активних міток не залежить від енергії зчитувача.

Пасивні мітки (Passive) не мають власного джерела живлення, а необхідну для роботи енергію отримують з надходить від зчитувача електромагнітного сигналу. Діяльність читання пасивних міток залежить від енергії зчитувача.

Перевагою активних міток в порівнянні з пасивними є значно більша (не менше, ніж в 2-3 рази) дальність зчитування інформації і висока допустима швидкість руху активної мітки щодо зчитувача.

Перевагою пасивних міток є практично необмежений термін їх служби (не вимагають заміни батарейок). Недолік пасивних міток в необхідності використання більш потужних пристроїв зчитування інформації, що володіють відповідними джерелами живлення.

Способи запису інформації на мітки

Інформація в пристрій пам'яті радіочастотної мітки може бути занесена різними способами. Спосіб запису інформації залежить від конструктивних особливостей мітки. Залежно від цього розрізняють такі типи міток:

Read Only - мітки, які працюють тільки на зчитування інформації. Необхідні для зберігання дані заносяться в пам'ять мітки виробником і не можуть бути змінені в процесі експлуатації.

WORM - мітки ("Write Once Read Many ") для однократного запису і багаторазового зчитування інформації. Вони надходять від виробника без будь-яких даних користувача в пристрої пам'яті. Необхідна інформація записується самим користувачем, але тільки один раз. При необхідності змінити дані потрібно нова мітка.

R / W - мітки ("Read / Write ") багаторазового запису і мнокротного зчитування інформації.

Діапазони частот

Частоти електромагнітного випромінювання зчитувача і зворотного сигналу, що передається міткою значно впливають на характеристики роботи радіочастотної системи в цілому. Як правило, чим вище діапазон робочих частот системи RFID, тим більше дальності, на яких зчитується інформація з радіочастотних міток:

Таблиця 2.1

Вплив діапазону частот електромагнітного випромінювання на характеристики роботи радіочастотної системи

Діапазон частот	Характеристики системи	Приклади застосування
Низькі 100-500 кГц	Мала дальність зчитування, низька вартість міток.	Контроль доступу. Ідентифікація тварин. Системи інвентаризації.
Проміжні 10-15 МГц	Середня дальність зчитування.	Контроль доступу. Смарт карти.
Високі 850-950 МГц 2,4-5,0 ГГц	Велика дальність і швидкість зчитування, потрібно точне націлювання зчитувача, висока вартість міток.	Спостереження за перевезенням вантажів залізницею, Системи справляння плати за користування дорогою з водіїв автомобілів.

Низькочастотні мітки мають вбудовані антени у вигляді багатоконтурних (кілька сотень) обмоток. Високочастотні мітки мають одноконтурні обмотки (диполь-антена).

Найменшими розмірами і вартістю володіють пасивні мітки класу Read Only (тільки читання) і малої дальності (відстань до зчитувача не більше 2 метрів).

Переваги радіочастотних міток

Універсальною технологією в галузі автоматичної ідентифікації є штрихове кодування. У цій області найбільш часто використовуються символи EAN / USS. Радіочастотна ідентифікація порівняно з штриховим кодуванням має такі переваги:

- дані ідентифікаційної мітки можуть доповнюватися;

- на мітку можна записати набагато більше даних;
- дані на мітку заносяться значно швидше;
- дані на мітці можуть бути засекречені;
- радіочастотні мітки більш довговічні;
- розташування позначки не має особливого значення для зчитувача;
- мітка краще захищена від впливу навколишнього середовища.

Кількість оброблюваної інформації та вимоги до її надійності зростає по геометричній прогресії з кожним роком, для її обробки потрібна величезна кількість часу і ресурсів, у зв'язку з цим самий практичний метод збору даних - автоматизований з використанням автоматизованих інтелектуальних систем. Система, заснована на радіочастотній ідентифікації, дозволяє автоматично перевіряти справжність одержуваної інформації, виробляючи автоматичний збір та систематизацію даних, при необхідності використовуючи заздалегідь закладені алгоритми дії та надавати інформацію в зручному вигляді.

У той час, як дані штрихового коду записуються тільки один раз (при друку), інформація, що зберігається радіочастотною міткою, може бути змінена, доповнена або навіть замінена на іншу за наявності відповідних умов. Це положення відноситься тільки до мітках "Read / Write" багаторазового запису та зчитування інформації.

Нещодавно розроблені двовимірні і матричні штрихові коди здатні зберігати великий обсяг даних, проте їх практичне використання стримується необхідністю використання специфічних принтерів і пристроїв зчитування (сканерів). Звичайні штрихові коди можуть помістити інформацію не більше 50 байт (знаків), причому для відтворення такого символу знадобиться площу розміром із стандартний аркуш формату А4.

У свою чергу радіочастотна мітка може легко помістити 1000 байт на мікросхемі площею в 1 квадратний сантиметр. Не становить серйозної технічної проблеми і розміщення інформації об'ємом 10 000 байт.

Для отримання штрихового коду зазвичай потрібно надрукувати його символ або безпосередньо на матеріалі упаковки, або на паперовій етикетці. І печатка, і

наклеювання липкою етикетки є або ручними, або механізованими операціями. Радіочастотні мітки можуть бути імплантовані в підставу палети або оригінальної упаковки на весь термін їх експлуатації. Самі дані про зміст упаковки записуються виключно безконтактним способом за час не перевищує однієї секунди.

Як і будь-яке цифрове пристрій радіочастотна мітка володіє можливостями, що дозволяють закрити паролем операції запису і зчитування даних. Крім того інформацію можна зашифрувати. В одній і тій же мітці можна одночасно зберігати закриті та відкриті дані. Це робить радіочастотну мітку ідеальним засобом, що захищає товари та матеріальні цінності від підробок та крадіжок.

У тих сферах застосування, де один і той же маркований об'єкт може використовуватися незліченну кількість разів (наприклад, при ідентифікації палет або зворотної тари), радіочастотна мітка виявляється ідеальним засобом ідентифікації, так як може бути використана 1 000 000 разів.

З метою забезпечення автоматичного зчитування штрихового коду комітетами за стандартами (у тому числі EAN International) розроблені правила розміщення символів штрихового коду на товарній і транспортній упаковці. Для радіочастотних міток ці вимоги несуттєві. Єдине, що потрібно для зчитування інформації з радіочастотної мітки, - це її знаходження в зоні дії сканера RFID.

Радіочастотні мітки не потрібно розміщувати на зовнішній стороні упаковки (об'єкта). Тому вони виявляються краще захищеними в умовах зберігання, обробки і транспортування логістичних одиниць. На відміну від штрихового коду на них не впливають пил і бруд.

Недоліки радіочастотних міток.

Поряд з перевагами радіочастотним міткам притаманні і деякі недоліки. До них відносяться:

- відносно висока вартість;
- неможливість розміщення під металевими і електропровідними поверхнями;
- взаємні колізії;
- схильність перешкод у вигляді електромагнітних полів;

Орієнтовна вартість пасивної радіочастотної мітки, що працює на середніх частотах 13,56 МГц, становить: - 1 долар при придбанні близько 1 шт; - 0,2 долара при придбанні 100 шт; - 0,1 долара при придбанні понад 100 000 000 шт.

Таким чином, вартість радіочастотних міток значно перевищує вартість етикеток зі штрих-кодом на упаковці товарів. Зображення символу штрихового коду EAN-13, включене в загальне оформлення упаковки, практично нічого не коштує, в разі використання самоклеющої етикетки її ціна складає всього 0,02 долара. Тому в даний час використання радіочастотних міток розміщення коду EAN-13 економічно не виправдане.

Разом з тим використання радіочастотних міток доцільно для захисту дорогих товарів від крадіжок або для забезпечення збереження виробів, переданих на гарантійне обслуговування. У сфері логістики і транспортування вантажів вартість радіочастотної мітки може виявитися зовсім незначною порівняно з вартістю вмісту контейнера. Тому великі супермаркети можуть почати використання RFID з застосування радіочастотних міток на пакувальних ящиках, палетах і контейнерах.

Радіочастотні мітки схильні до впливу металу (електромагнітне поле екранується струмопровідними поверхнями). Тому перед використанням радіочастотних міток в упаковках певного виду (наприклад, металевих контейнерах) упаковку слід модернізувати. Це положення відноситься і до деяких типів упаковки рідких харчових продуктів, запечатаних фольгою (суть - тонкий лист металу). Відомі випадки маркування мітками RFID упаковок з взуттям. При цьому в умовах вологості шкіра черевик набувала властивості електропровідності і погіршувала роботу системи RFID в цілому.

У багатьох випадках в поле дії зчитувача може одночасно потрапити кілька радіочастотних міток. Це може бути зроблено навмисне, наприклад, в магазині при проході через пункт контролю. Хороше контрольне обладнання повинно вміти не тільки виявляти радіочастотні мітки, а й чітко ідентифікувати кількість однотипних міток, щоб, заплативши тільки за один виріб, було неможливо одночасно винести інші того ж виду. Така технологія існує. Звичайно, складно ідентифікувати і підрахувати кількість міток кожного типу, одночасно потрапили в поле дії

зчитувача, не пропустивши жодної з них. У зчитувачах, що володіють такими можливостями, реалізований спеціальний алгоритм антиколлізії. Хоча технології антиколлізії успішно продемонстровані в лабораторних умовах, на практиці вони поки мало застосовні у зв'язку з тим, що їх реалізація призводить до значного збільшення часу зчитування.

Проблема існує і вимагає свого рішення особливо у сфері постачання. Найпростіше, що лежить на поверхні рішення полягає в використанні єдиної радіочастотної мітки на упаковці кожного рівня. Наприклад, на транспортній упаковці (контейнері) розміщується одна мітка, в пам'ять якої записуються дані про всі товари, поміщених в упаковці.

Системи радіочастотної ідентифікації можуть бути чутливі до перешкод у вигляді електромагнітних полів від включених комп'ютерів (моніторів). Тому необхідно ретельно проаналізувати умови, в яких система RFID експлуатуватиметься.

Прикладом застосування технології є система захисту автомобільних причепів від викрадень. У Великобританії широко поширені автомобільні причіпні будиночки-фургони типу "caravan". Щорічно їх продається до 24 000 штук за ціною від 6 до 25 тисяч фунтів стерлінгів. Їх збереженням в першу чергу стурбовані страхові компанії, тому описана нижче захисна схема для автовласників реалізована безкоштовно. При виготовленні кожного будиночка-фургону привласнюється унікальний ідентифікаційний код VIN, що складається з 17 буквено-цифрових знаків. Цей код реєструється при продажу разом з даними про власника будиночка в спеціальній асоціації, що складається з 35 фірм-виробників фургонів, 100 дилерських компаній і 550 автостоянок.

З 1998 року впроваджено схему маркування будиночків. Ідентифікаційний код VIN методом хімічного травлення наноситься на всі стекла з одночасним дублюванням цієї інформації в пам'яті радіочастотної мітки. Пасивна радіочастотна мітка типу WORM розробки компанії TIRIS (Texas Instruments, Northampton, UK) має розміри кредитної картки і володіє програмованою пам'яттю ємністю 1360 біт (близько 170 буквено-цифрових знаків).

Мітка встановлюється усередині фургона при складанні на заводі. Дані про власника одноразово записуються в пам'ять WORM у момент продажу, і після цього вже не можуть бути змінені. Якщо навіть викрадач фургона замінить всі стекла на інші з власною графіровкою, він не зможе змінити код транспортного засобу VIN і дані про власника в пам'яті радіочастотної мітки. У свою чергу ця інформація прочитується з мітки дистанційно при русі фургона мимо поста дорожньої поліції. Якщо дані про угін є в поліцейському комп'ютері, тривожний сигнал буде виданий автоматично. Знову ж, якщо код VIN на склі фургона не відповідає даним ліченим з радіочастотної мітки, автовласник порушить увагу поліції.

Італійська компанія, що здійснює перевезення пасажирів громадським транспортом в м. Туріні (Італія), ввела в дію систему контролю за рухом належать їй 900 автобусів і 300 трамваїв. У ній використовуються пристрої RFID розробки Confident, TAGMASTER і Kista (Швеція). Турин став третім італійським містом, який придбав зазначену систему.

Невелика радіочастотна мітка встановлюється на кожному автобусі і трамваї. При поверненні автобуса з маршруту центральний комп'ютер (звичайна "персоналка") по сигналу з мітки автоматично реєструє дату і час прибуття.

При виході на маршрут реєстрація повторюється, при цьому водій бачить свій ідентифікаційний номер, номери автобуса (трамвая) і маршруту, що відображаються на великому екрані біля воріт парку. Водієві не потрібно зупинятися або проїздити в безпосередній близькості від зчитувача: мітки, що працюють в частотному діапазоні 2,45 ГГц, дозволяють зчитувати з них інформацію на відстані до 6 метрів. Система дозволяє оптимально планувати завантаження водіїв автобусів і трамваїв і контролювати своєчасність виходу на маршрут і повернення з маршруту.

Компанія Sainsbury's Supermarkets (Великобританія), що володіє мережею з 381 супермаркетів, прийняла рішення про електронне маркування товарів. Використовується технологія радіочастотної ідентифікації CHECKPOINT SYSTEMS (Harlow, UK). Малорозмірні мітки RFID завтовшки з аркуш паперу запресовуються в упаковку товарів ще на етапі їх виробництва. У магазинах встановлені детектори захисту від крадіжок на входах і виходах торгового

залу. Детектори виявляють присутність радіочастотної мітки і видають сигнал тривоги. Дезактиватори міток розташовані у касира. Стандартні сканери штрихового коду 2010 серії Scantech (Голландія) спеціальним чином допрацьовані і дозволяють замість традиційних двох послідовних операцій зчитування коду товару з подальшим зняттям захисту виконувати одну, об'єднуючу обидві вказані функції. Система довела свою ефективність. У першу чергу маркуються товари з групи ризику (найбільш схильні крадіжкам), а також товари в дорогих секціях. Марковані і немарковані товари не відрізняються за зовнішнім виглядом (видно тільки штриховий код, але невідомо, запресована чи мітка в упаковку і в якому місці). Застосування зазначеної схеми скорочує час роботи касира і загальна кількість контрольного устаткування в торговому залі. Планується перевести всі 100% товарів на маркування радіочастотними мітками.

Схожа система під найменуванням "Альбатрос" розробляється для торгової компанії El Corte Ingles (Іспанія) за технологією фірми PHILIPS. Роботи розпочаті восени 1996 року і планується протягом 5 років досягти становища, при якому 30% усіх товарів будуть забезпечені мітками RFID. Використовуються мітки типу R / W з внутрішньою пам'яттю 512 біт, в якій розміщується унікальний номер мітки (64 біта) і місце для інформації користувача (384 біта). Дані гарантовано зберігаються в пам'яті протягом 10 років. Розміри мітки - 5x5 см, ефективна дальність до зчитувача - 1,2 м, робоча частота 13,56 МГц, швидкість роботи зчитувача - 20 міток в секунду. Реалізована функція антиколізії: мітки однотипних товарів селектуються і не змішуються в обліковій системі. Для боротьби з крадіжками з двох сторін проходу в зал встановлюються антени зчитувача (всього 2), при цьому ширина проходу досягає 1,5 метра.

За даними журналу 'IT Reseller' від загальної кількості проданих у Європі систем RFID 16% складають системи контролю доступу. Схеми роботи достатньо прості: радіочастотна мітка з даними співробітника є по суті електронним пропуском, виготовленим у вигляді брелока для ключів, фірмового значка, браслета або навіть циферблата для наручних годинників ('STId "FRANCE'). Зчитувачі радіочастотних міток встановлюються на турнікетах при вході в будівлю компанії, а

також на дверях приміщень з обмеженим доступом співробітників. Достатньо тільки мати при собі електронний пропуск, щоб код був лічений, перевірений комп'ютером, звірений зі списком співробітників, яким дозволений допуск і одночасно з автоматичним відкриттям дверей відмічений в пам'яті комп'ютера із зазначенням посади, прізвища та ініціалів співробітника, а також дати і часу проходу. Недоліком системи може бути прохід групи по одному пропуску, який усувається установкою турнікетів і візуальним контролем з боку служби спостереження.

Таким чином, в системі слід використовувати високочастотні радіочастотні мітки з можливістю перезапису.

2.3 Висновки до 2 розділу.

Для реалізації моделі системи автоматичного ведення поїздів вибрано метод нечіткої логіки, що дозволяє моделювати системи з використанням поняття невизначеності, що є необхідним і у технічних системах.

Розглянуто моделі нечіткої логіки. Вибрано модель Тагакі Сугено.

Для збору і передачі даних розглянуто технологію радіочастотої ідентифікації, для реалізації вибрано високочастотні радіочастотні мітки з можливістю перезапису.

РОЗДІЛ 3

РЕАЛІЗАЦІЯ МОДЕЛІ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ ТЯГОЮ ЛОКОМОТИВА У СЕРЕДОВИЩІ MATLAB

3.1 Вибір змінних вхідних факторів моделі

Для підвищення точності прогнозування витрати електричної енергії на тягу поїздів необхідно проаналізувати і найбільш повно і точно врахувати впливають на нього фактори[18,19]. Розглянемо більш детально, на що витрачається електрична енергія на рухомому складі.

Повна витрата електричної енергії, споживана рухомим складом, складається з енергії, що витрачається на рух поїзда, власні потреби локомотива, опалення пасажирських і поштово-багажних вагонів, на маневрові пересування по деповським і станційним коліях.

Рух поїзда супроводжується дією сил, спрямованих проти його руху. Дія цих сил замінюється еквівалентною силою - силою опору руху поїзда, яку поділяють на основний і додатковий опір руху поїзда і яка визначається не тільки характеристиками локомотива і вагонів, а й станом колії та метеорологічними умовами.

Сили основного опору руху обумовлені тертям в підшипниках рухомого складу, взаємодією колісних пар з рейками і опором від впливу повітряного середовища при відсутності вітру. Сили додаткового опору руху виникають від ухилів і кривизни шляху, при рушанні з місця, від підвагонного генератора, при низьких температурах зовнішнього повітря і дії зустрічного і бічного вітру[20].

Температура зовнішнього повітря визначає ступінь в'язкості мастила. З пониженням температури зростає повітряний опір, а взимку виникають сили додаткового опору : це опір гребенів бандажів колісних пар при русі по сніжному покриву, опір самого снігового покриву, лежачого на рейках, і т. д.

Вітер може надавати прямий гальмівний опір або попутний вплив. При зустрічному вітрі зростають сили опору руху повітряного середовища, в той час як попутний вітер зменшує ці сили. Великий вплив робить бічний вітер, бо під його впливом рухомий склад зміщується убік і виникає тертя гребенів колісних пар про бічну поверхню рейки.

На опір руху впливає ділянка колії, по якому проходить рухомий склад та який характеризується своїм профілем і планом. Існують рівнинні ділянки, ділянки, що мають горбистий профіль, гористі ділянки. При русі поїзда за ухилами і кривим витрата електричної енергії залежатиме від їх крутизни і протяжності, довжини і радіуса кривої. Із збільшенням крутизни підйому зростає і витрата енергії. Також він зростає на кривій ділянки при зменшенні радіусу кривої.

Конструкція і стан верхньої будови колії також впливають на опір руху поїзда. Великий вплив на витрату електричної енергії надає незадовільний стан колії, підвищений знос якого призводить до погіршення руху рухомого складу, а, отже, до збільшення витрати енергоресурсів.

Електрична енергія, що витрачається рухомим складом, йде на запас кінетичної і потенційної енергії, які в подальшому використовуються для руху поїзда без енергетичних витрат. Запасена потенційна енергія може бути використана для здійснення механічної роботи при подальшому русі поїзда по спуску. Кінетична енергія витрачається на подолання сил опору руху в тому випадку, коли поїзд рухається уповільнено. При гальмуванні більша частина її втрачається в гальмах, перетворюючись на теплову енергію, що нагріває гальмівні колодки, колеса і навколишнє повітря. Деяка частина кінетичної енергії рухомого поїзда втрачається у зв'язку з ударами коліс про кінці рейок при набіганні на них в стиках і витрачається на пружні коливання верхньої будови колії, викликані взаємодією рухомого поїзда з рейками, шпалами і баластом.

Значний вплив на витрату енергії надає тип і технічний стан локомотива. Локомотиви підрозділяють за типами енергетичних установок, по виду виконуваної роботи, за призначенням. Тип локомотива характеризується такими параметрами, як

номінальна потужність, сила тяги, коефіцієнт корисної дії, зчепна маса, часова витрата енергії та ін

Важливою характеристикою рухомого складу є його маса і ступінь використання вантажопідйомності вагонів. Перевезення вантажів у неповновагових складах або в не повністю завантажених вагонах призводить до збільшення питомої опору руху, а значить і до перевитрати енергоресурсів на тягу поїздів. Із збільшенням маси складу і завантаження вагонів зменшується витрата енергії на одиницю виконаної роботи.

Впливає на загальну витрату енергії і характер вантажу. Сипучі і рідкі вантажі розгойдують вагон під час руху, створюючи тим самим додатковий опір.

Для зниження витрати електричної енергії велике значення має справний технічний стан локомотива і вагонів. Знос деталей призводять до погіршення динаміки, плавності руху поїзда і підвищеної витрати електроенергії.

На витрату енергії впливає рід струму і напруга в контактній мережі. Недоліком системи електропостачання постійного струму є те, що такий струм дуже важко трансформувати, т. е. підвищувати або знижувати напругу без значних втрат. Чим вище потужність електровоза, тим більше втрати. Значні втрати електроенергії створюються великими величинами споживаних струмів. На змінному струмі також існують недоліки: чим більше обсяги руху на ділянці, тим більше збитки від використання змінного струму в частині розміру витрат електроенергії на переміщення одиниці вантажу.

Крім того, в контактній мережі мають місце певні втрати частини електричної енергії, що витрачається на подолання опору ланцюгів електропостачання. При аналізі електроспоживання слід враховувати перетин контактних проводів, форму і тип контактної підвіски, критичну швидкість, бальну оцінку стану контактної мережі і коефіцієнт тертя ковзання струмоприймача по контактному проводу.

Витрата електричної енергії на власні потреби локомотива складається з енергії, необхідної для роботи допоміжних машин, живлення кіл керування, освітлення електрорухомого складу.

Необхідно також враховувати витрату електричної енергії на опалення пасажирських і поштово-багажних вагонів і кондиціонування повітря у вагонах підвищеної комфортності.

На витрату енергії за поїздки також впливають всі фактори, пов'язані з відхиленням швидкості від розрахункової при русі складу по колії проходження. Непередбачені графіком руху гальмування і розгони, простій на зупинках призводять до втрат електричної енергії.

При використанні локомотивною бригадою раціональних режимів управління електровозом можна домогтися значного зниження енергоспоживання.

Об'єктивна, технічно обґрунтована норма дозволяє планувати витрати електричної енергії, поліпшити організацію експлуатації, спонукати працівників залізничного транспорту за рахунок певних стимулів знизити витрату електроенергії.

Витрата електричної енергії залежить від безлічі факторів різної природи, кожен з яких впливає на витрату енергії по-різному. Всі ці фактори необхідно враховувати при аналізі та нормуванні енергоспоживання на тягу поїздів.

Таким чином, ми можемо виділити наступні чинники, що мають вплив на тяговий розрахунок, а отже, і на вибір оптимального режиму ведення поїзду[21,22,23].

Незмінні чинники, що походять від ділянки колії, на якій реалізується модель:

1. Ухил колії в проміле (підйом або схил);
2. Радіус кривої (за наявності)
3. Тип колії (ланковий або безстиківий)
4. Стан колії
5. Розташування елементів колії, які потребують певного режиму

проходження.

Змінні чинники, що походять від ділянки колії, на якій реалізується модель:

1. Швидкість вітру

2. Направлення вітру
3. Вологість колії
4. Дальність видимості
5. Температура повітря

Незмінні чинники, що походять від локомотива, що виконує перевезення:

1. Рід струму;
2. Службова маса;
3. Навантаження від колісної пари на рейки;
4. Конструкційна швидкість;
5. Сила тяги розрахункового режиму;
6. Сила тяги при рушанні;
7. Швидкість розрахункового режиму;
8. Тягова характеристика локомотива
9. Токова характеристика локомотива
10. Обмеження за зчепленням і за потужністю
11. Теплові характеристики тягового електродвигуна
12. Технічний стан локомотива і його елементів

Незмінні чинники, що походять від вагонів, що складають поїзд:

1. Тип вагона
2. Маса вагона (тара)
3. Навантаження від осі колісної пари на рейки
4. Довжина по осях автозчеплень
5. Тип тормозних колодок

Змінні чинники

1. Кількість вагонів
2. Навантаженість вагонів

3. Тип вантажу (для розрахунку опору від поперечних коливань вантажу у вагоні)

4. Технічний стан елементів руху вагонів

Проаналізувавши рівень впливу всіх чинників, можна зробити висновок, що для побудови моделі наступними чинниками можна знехтувати:

1. Стан колії

2. Швидкість вітру

3. Направлення вітру

4. Вологість колії

5. Дальність видимості

6. Температура повітря

7. Тип вантажу (для розрахунку опору від поперечних коливань вантажу у вагоні)

8. Технічний стан елементів руху вагонів

3.2 Технічна реалізація автоматизованого управління тягою поїзда

Технічна реалізація оптимального управління тягою поїзда наступна[25]. Великою, яка повинна бути відома перед початком руху, є початкова швидкість V_0 на ділянках екстремалі. Ця швидкість визначається шляхом тягового розрахунку для заданої маси поїзду за такої умови, щоб з урахуванням ділянок розгону і гальмування, а також падіння швидкості на крутих підйомах, середня швидкість руху по перегону в цілому дорівнювала заданій.

Так як швидкість V_0 обчислюється для розрахункової маси поїзду m , яка може відрізнятись від існуючої, а реальна величина сил опору може відрізнятись від розрахункової, то при розрахованому заздалегідь значенні V_0 може виявитись неможливим виконання заданого часу ходу. Однак помилки в розрахунку V_0 , викликані неповнотою і неточністю наявної інформації про масу поїзду та сили опору руху, можуть бути виправлені коригуванням.

Проведений аналіз свідчить, що існуючий підхід до автоматизації розрахунку технологічних характеристик руху поїздів на ділянках з підйомами і спусками базується на класичних методів без врахування сучасних можливостей автоматизованого вимірювання та ідентифікації маси і ділянок руху поїздів, а також розвитку математичного апарату моделювання.

Рішення задачі автоматизованого управління режимами тяги поїздів зводиться в спрощеному вигляді до задачі управління вигляду:

$$F(t) = m * a(t) \quad (3.1)$$

Тут $F(t)$ и $a(t)$ – сила тяги і прискорення відповідно змінюються в часі t . При цьому точність тягових характеристик, а значить, і максимальна оптимальність управління, залежать від:

- точності вимірювання маси поїзда m ;
- точності вимірювання моментів часу t , відповідних оптимальним точкам ділянок руху, в яких необхідно перемикаєти режими тяги локомотива (контролер машиніста).

Для вирішення поставлених задач необхідно автоматизувати наступні операції:

- збір інформації про технологічні параметри руху поїздів на ділянці шляху як основи навчальної вибірки моделі за допомогою технології RFID;
- нечітке моделювання управління режимами і параметрами тяги поїздів;
- нейронечітку адаптацію нечіткої моделі управління режимами тяги поїздів як основу вдосконалення моделі управління режимами і параметрами тяги поїздів за допомогою MathLab Fuzzy Logic ToolBox.

Створення автоматизованої системи управління режимами тяги поїздів повинно відповідати існуючій концепції створення автоматизованої системи управління рухом Укрзалізниці, що передбачає на сьогоднішній день централізований розрахунок тягового-швидкісних характеристик. Вирішення ж

завдання автоматизованого управління режимами тяги поїздів передбачає отримання рішення на рівні машиніста локомотива.

В основу такого рішення покладені можливості технології радіочастотної ідентифікації (RFID), які дозволяють обладнати локомотиви і необхідні ділянки шляху сканерами RFID в режимі читання-запису, а також мітками RFID з можливістю їх перезапису. Включення зазначеної апаратури до складу інформаційної системи управління рухом дозволяє використовувати її в двох технологічних режимах:

- в режимі оффлайн - розрахунок виконується в обчислювальному центрі, а машиніст приймає результат як рекомендації при ухваленні рішення про тягу локомотива на різних ділянках руху;

- в режимі онлайн - розрахунок автоматизований в бортовому комп'ютері локомотива, а рішення відбувається не тільки в якості рекомендації при ухваленні рішення про тягу локомотива, але й автоматично без участі машиніста, якщо мова йде про сучасні моделі локомотивів з відповідною електронною інфраструктурою.

Сканери RFID читання-запису на ділянках шляху розташовуються в:

- місцях формування інформації про технологічні характеристики поїзда;
- місцях збору статистики про технологічні параметри руху поїздів на ділянці шляху.

RFID мітки з можливістю перезапису встановлюються:

- на рухомому складі та містять динамічні та статичні параметри руху;
- на ділянках шляху - в оптимальних місцях перемикання тягових режимів за типами локомотивів і ваги поїзда з сигнальною метою - для перемикання режимів тяги (розраховуються в результаті нечіткого моделювання режимів і параметрів тяги поїздів).

Принципова схема автоматизованого управління тягою потягу на основі технології RFID зображена на рисунку 3.1.

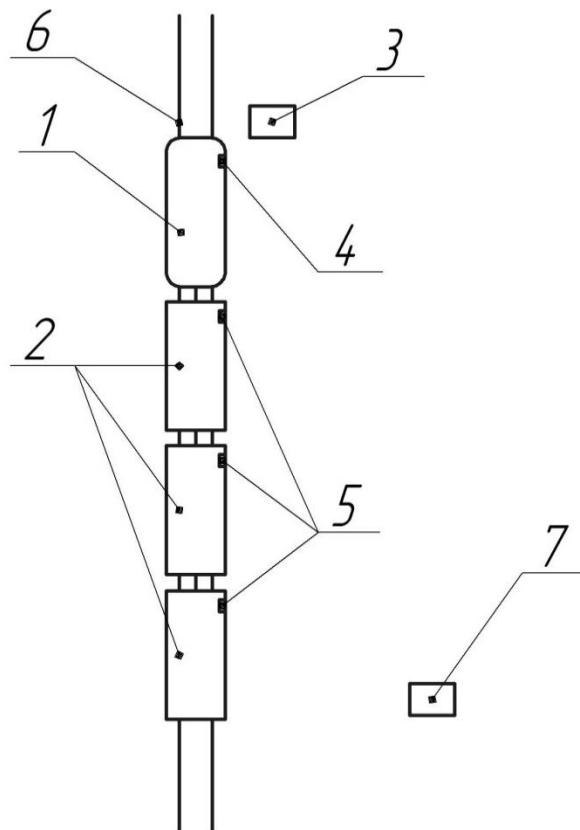


Рисунок 3.1 Схема автоматизованого управління тягою потягу за допомогою технології радіоідентифікації

1 – локомотив, 2 – вагони, 3 – RFID-мітка ділянки колії, 4 – RFID-сканер локомотива, 5 – RFID-мітка вагона, 6 – колія, 7 – обчислювальний центр.

На основі даних про колію формується RFID-мітка ділянки колії. До бази даних мітки вносяться дані про вид колії (ланковий/стиківий або безстиківий), ухил і наявність на ділянці кривих.

RFID-мітки, що встановлені на рухомому складі, містять інформацію про масу бруutto вагона, яка з великою точністю визначена на станції завантаження за допомогою вагонних ваг. Ця інформація автоматично вводиться до RFID-міток вагонів і зберігається в ній до моменту наступного перезавантаження або розвантаження. При формуванні складу всі дані з RFID-міток вагонів заносяться до бази даних локомотива, що обслуговує перевезення.

RFID-мітка ділянки колії встановлюється на початку попередньої ділянки, щоб бортовий комп'ютер, встановлений на локомотиві, мав час на опрацювання

отриманих даних і виводу на екран рекомендацій машиністу щодо подальшої стратегії ведення поїзда.

Далі наведена послідовність роботи автоматизованої системи управління тягою потягу на ділянці руху.

1. Формування бази даних RFID-мітки ділянки колії
2. Формування бази даних RFID -мітки поїзда
3. Зчитування інформації сенсором локомотива з RFID -мітки ділянки колії
4. Формування бази даних моделі руху по ділянці колії
5. Зчитування інформації сканером ділянки колії з RFID -мітки поїзда.
6. Формування бази статистичних даних моделі руху поїздів на ділянці колії.
7. Навчання моделі руху поїздів на ділянці колії наколюванням статистичних даних.
8. Формування даних про режими руху поїзда для даної ділянки колії
9. Виведення рекомендацій для машиніста локомотива на екрані бортового комп'ютера щодо зміни режиму тяги: поворот контролера машиніста на певну кількість положень и визначення моменту початку розбігу (для ділянки підйому) та гальмування (для ділянки спуску).

Для адаптації нечіткої продукційної моделі управління режимами тяги поїздів як основи автоматизованого тягового-швидкісного розрахунку використана нейронечітка адаптивна система виведення ANFIS. При цьому гібридна мережа ANFIS є системою нечіткого виведення типу Сугено 0-го або 1-го порядку, в якій кожне правило нечітких продукцій має постійну вагу та дорівнює 1.

Схема виведення в моделі Сугено при використанні m правил і n змінних має вигляд:

$$\text{якщо}(X_n = A_n^{(i)}), \text{тоді}(Y_i = P_{i0} + \sum_{j=1}^n P_{ij} X_j). \quad (3.2)$$

де X – технологічні характеристики поїзда, а Y – режими тяги.

Агрегований вихідний результат - режим тяги (положення контролера) для m правил має наступний вигляд:

$$y(x) = \frac{\sum_{i=1}^M w_i y_i(x)}{\sum_{i=1}^M w_i} \quad (3.3)$$

де w_i - значення функції належності для вектора x .

$$y_i = p_{i0} + \sum_{j=1}^n p_{ij} x_j \quad (3.4)$$

де p_{ij} , $i = 1 \div m, j = 1 \div n$, - ваги, які підлягають адаптації.

Навчання (адаптація) моделі управління режимами тяги поїздів зроблено на основі статистичних даних технологічних характеристик поїздів, що пройшли через ділянку шляху за допомогою MathLab Fuzzy Logic ToolBox.

3.3 Додаткові вхідні дані для реалізації моделі.

Для реалізації моделі у середовищі Matlab необхідно сформувати базу даних[26]. У процесі виконання експериментальних поїздок всі дані про локомотив повинні автоматично заноситися у відповідні таблиці бази даних. Для цього слід забезпечити всі контрольні прибори електронними датчиками для вимірювання поточних значень[27]. Таким чином, автоматично повинні записуватись:

1. Швидкість на початку ділянки;
2. Швидкість наприкінці ділянки;
3. Перегрів обмоток тягового електродвигуна на початку ділянки;
4. Перегрів обмоток тягового електродвигуна наприкінці ділянки;
5. Поточний струм на тягових електродвигунах;
6. Поточний час.

Встановлення датчиків і виконання експериментальних поїздок несуть за собою фінансові витрати. Щоб запобігти цих категорій витрат, можна сумістити

експериментально отримані дані з даними, отриманими аналітично. Для цього використаємо методику розрахунків теорії локомотивної тяги [20,21,22,23] і вбудуємо залежності у імітаційну модель.

Основний питомий опір руху у режимі тяги дорівнює:

$$w_0' = (1,9 + 0,01v + 0,0003v^2) g ; \quad (3.5)$$

де v – швидкість на ділянці, км/год.;

g – прискорення вільного падіння, м/с².

Основний питомий опір руху у режимі вибігу дорівнює:

$$w_x = (2,4 + 0,011v + 0,00035v^2) g ; \quad (3.6)$$

Основний питомий опір руху вагонів на ланковому шляху:

$$w_0'' = \left(0,7 + \frac{3 + 0,1v + 0,0025v^2}{q_0} \right) g . \quad (3.7)$$

де q_0 – маса бруто вагона, т.

Основний питомий опір руху поїзда у режимі тяги:

$$w_0 = \frac{P}{P+Q} w_0' + \frac{Q}{P+Q} w_0'' \quad (3.8)$$

де P – маса локомотива, т;

Q – маса склада вагонів, т;

Основний питомий опір руху поїзда у режимі вибігу:

$$w_0 = \frac{P}{P+Q} w_x + \frac{Q}{P+Q} w_0'' \quad (3.9)$$

Додатковий питомий опір руху від ухилу:

$$w_i = ig, \quad (3.10)$$

де i – поточний ухил ділянки колії, ‰.

Додатковий питомий опір руху від кривої при довжині поїзда, меншій за довжину кривої:

$$w_r = \frac{700}{R} g, \text{ (Н/Т)} \quad (3.11)$$

де R – радіус кривої, м.

Додатковий питомий опір руху від кривої при довжині поїзда, більшій за довжину кривої:

$$w_r = \frac{700}{R} \frac{s_{кр}}{l_n} g, \text{ (Н/Т)} \quad (3.12)$$

де $s_{кр}$ – довжина криволінійної ділянки поїзда, м;

l_n – довжина поїзда, м.

Перевищення температури обмоток над температурою навколишнього середовища:

$$\tau_{\infty} = 10,526 \exp(5,1 \cdot 10^{-3} I_d) (\text{°C}). \quad (3.13)$$

де I_d – струм на тягових електродвигунах, В.

Шлях, що пройдено поїздом за відрізок часу:

$$\Delta s_i = \frac{v_i + v_{i-1}}{2} \Delta t = \frac{v_i + v_{i-1}}{1440}, \quad (3.14)$$

де Δt – довжина відрізка часу, год.

3.4 Реалізація імітаційної моделі у програмному пакеті MATLAB

MATLAB – пакет прикладних програм, що використовуються для виконання технічних розрахунків.

Fuzzy Logic Toolbox-інтуїтивне графічне середовище для розробки інтелектуальних систем.

Пакет Fuzzy Logic дозволяє легко проектувати і діагностувати нечіткі моделі. Забезпечується підтримка сучасних методів нечіткої кластеризації та адаптивні нечіткі нейронні мережі. Графічні засоби пакета дозволяють інтерактивно відстежувати особливості поведінки системи.

Основні властивості

- Визначення змінних, нечітких правил і функцій належності;
- Інтерактивний перегляд нечіткого логічного висновку;
- Сучасні методи: адаптивний нечіткий висновок з використанням нейронних мереж, нечітка кластеризація;
- Інтерактивне динамічне моделювання в SIMULINK;

Пакет Fuzzy Logic включає сучасні методи нечіткого моделювання, включаючи:

- Адаптивний нечіткий висновок з використанням нейронних мереж для автоматичного формування функцій належності в процесі навчання їх на вхідних даних;
- Нечітка логіка і кластеризація для задачі розпізнавання образів;
- Можливість вибору широко відомого методу Мамдані або потужного методу Сугено для створення гібридних нечітких систем.
- Інтеграція моделювання та генерації коду. Пакет призначений для спільної роботи з Simulink. За допомогою Real-Time Workshop можна генерувати ANSI C код для роботи в реальному часі.

Пакет надає ефективний інструмент нечіткого висновку, здатний запускати нечітку модель як автономний додаток або як частина іншої програми.

Для спрощення реалізації моделі автоматичного ведення поїзду у пакеті Fuzzy Logic Toolbox вибираємо 4 вхідні змінні:

1. Ухил ділянки руху
2. Середню швидкість на ділянці колії
3. Питомий опір руху поїзда
4. Питоме пришвидшення на ділянці руху.

На виході ми повинні отримати значення позиції контролера машиніста.

Формуємо схему моделі (рис. 3.2).

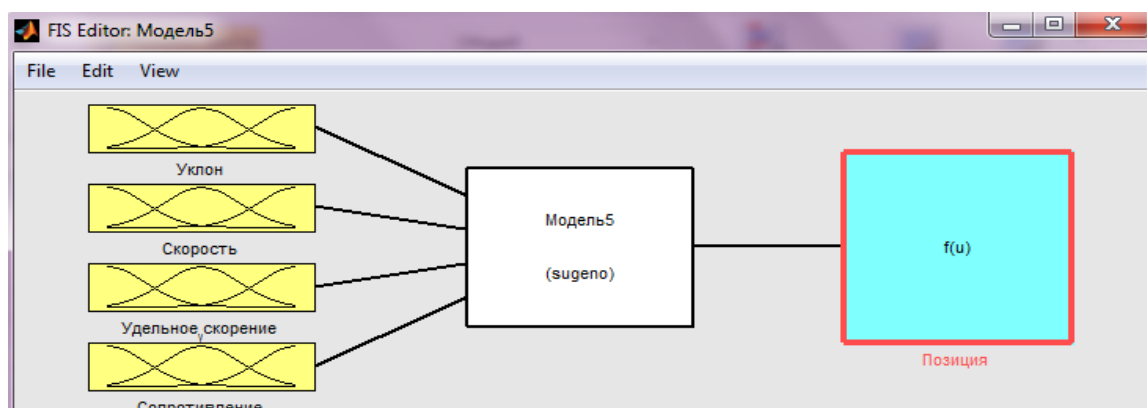


Рисунок 3.2 Схема нечіткої моделі

Далі додаємо до схеми базу даних, отриманих за допомогою статистичних методів і методів теорії локомотивної тяги. Ставимо модель у режим навчання.

Отримаємо нейроадаптивну мережу моделі, що зображена на рис. 3.3

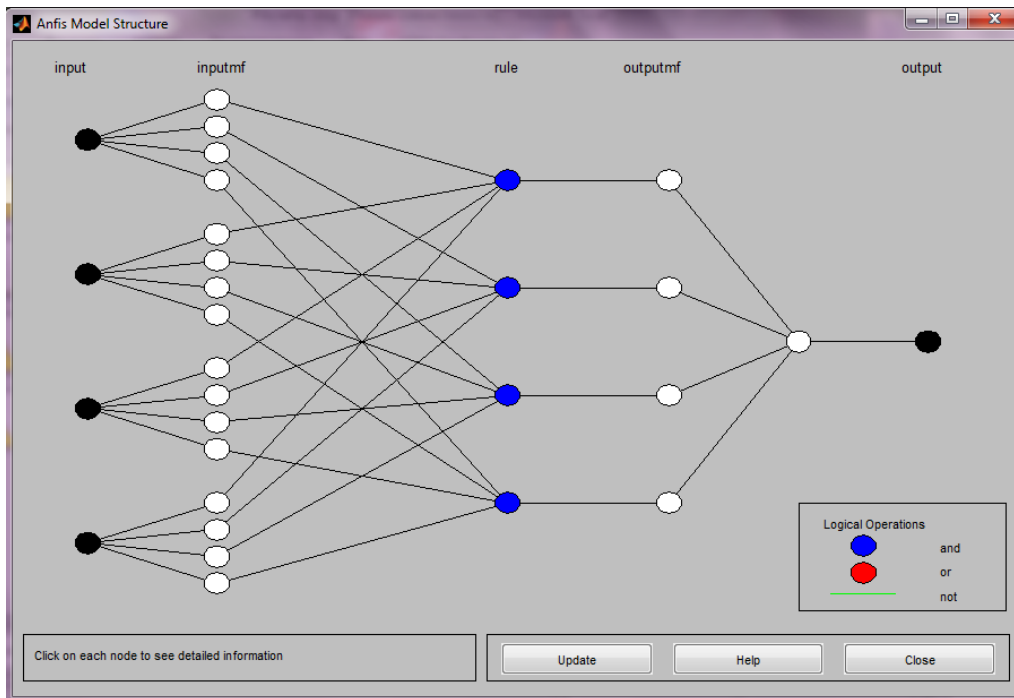


Рисунок 3.3 Нейроадаптивна мережа моделі

На мережі слід виділити наступні елементи:

1. Input – вхідні змінні;
2. Inputmf – функції приналежності вхідних змінних у 4 терм-інтервалах;
3. Rule –правила управління, що відшукуються програмою;
4. Outputm – функції приналежності вихідних змінних
5. Процедура агрегування;
6. Output – вихідна змінна, результат.

У процесі навчання модель здобуває вид функції належності.

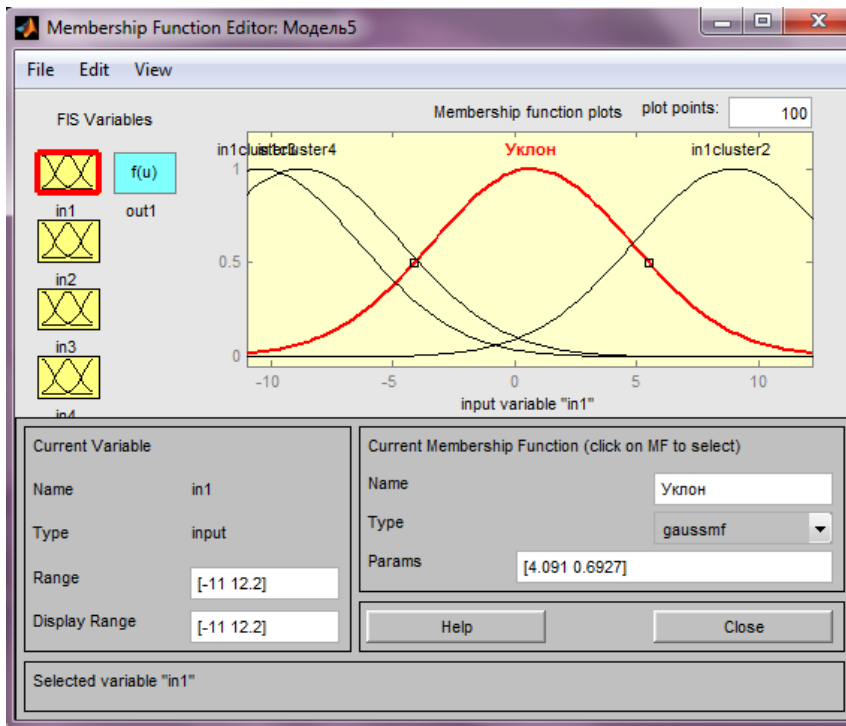


Рисунок 3.4 Функція належності вхідної змінної

3.5 Експериментальні дані для перевірки адекватності моделі

Для перевірки адекватності моделі і її реалізації вибрано електровоз ВЛ 10 з однорідним за типом вагонів складом.

Локомотив ВЛ 10 має наступні технічні характеристики (табл. 2).[28]

Таблиця 3.1

Основні технічні характеристики локомотиву ВЛ 10

Основні технічні характеристики :	
Рід служби	Вантажний
Ширина колії	1520 мм
Габарит по ГОСТ 9238-83	1 - Т
Напруга, U	3000

Рід струму	постійний
Осьова формула	2(20-20)
Службова маса, Р	184
Навантаження від колісної пари на рейки, q_0	225,63 кН (23 тс)
Конструкційна швидкість, V_k	100 км/г
Потужність годинного режиму, $N_ч$	5360 кВт
Сила тяги годинного режиму, $F_{кч}$	387,5 кН
Швидкість годинного режиму, $V_г$	48,7 км/год
Потужність тривалого (розрахункового) режиму, N_p	4600 кВт
Сила тяги розрахункового режиму, $F_{кр}$	313,92 кН
Швидкість розрахункового режиму, v_p	51,2 км/год
Сила тяги при рушінні, $F_{ктр}$	614,1 кН
Довжина по осях автозчеплень, L_l	32840 мм

Таблиця 3.2

Обмеження по зчепленню

Електровоз	V, км/ч	0	5	10	15	20	30	40	50	56
ВЛ10	F _к , кН	614,1	535,6	514,0	502,2	492,5	475,8	461,1	447,3	-

Таблиця 3.3

Обмеження за потужністю

Електровоз	V, км/ч	56	57,5	60	65	70	75	80	90	100
ВЛ10	F _к , кН	-	437,5	393,4	316,9	263,9	226,6	196,2	147,2	109,9

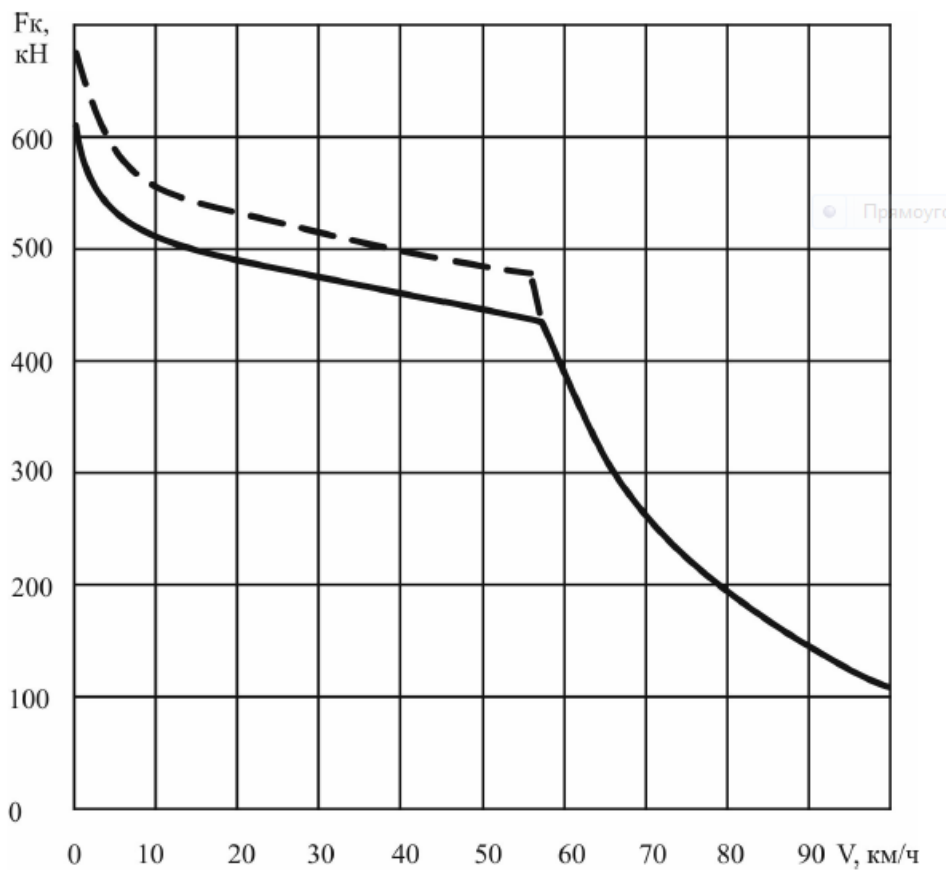


Рисунок 3.5. Тягова характеристика електровоза ВЛ 10

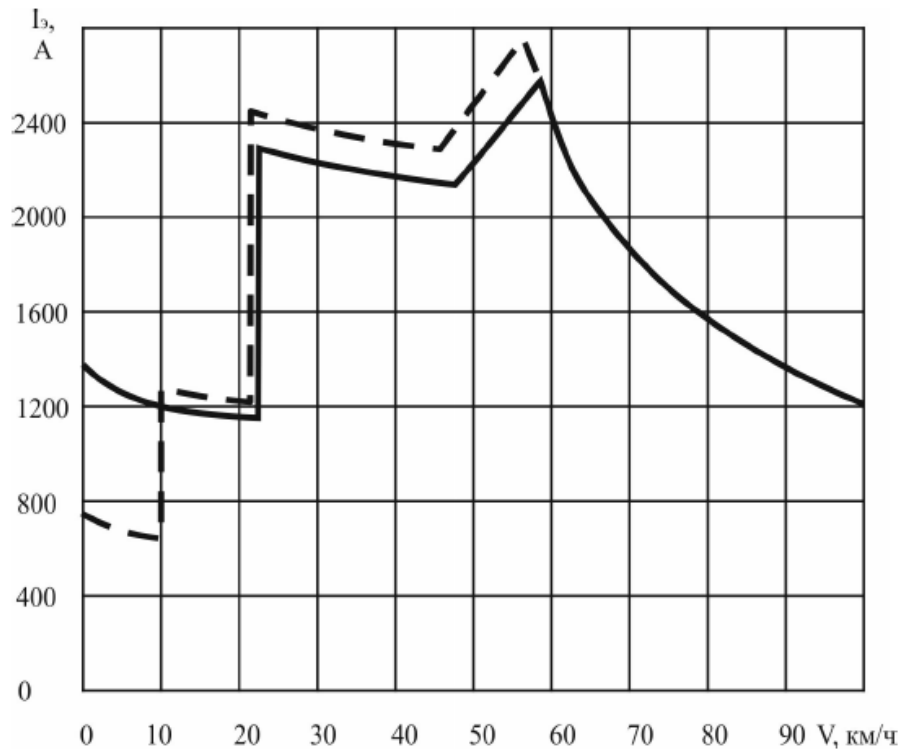


Рисунок 3.6 Токова характеристика електровоза ВЛ 10

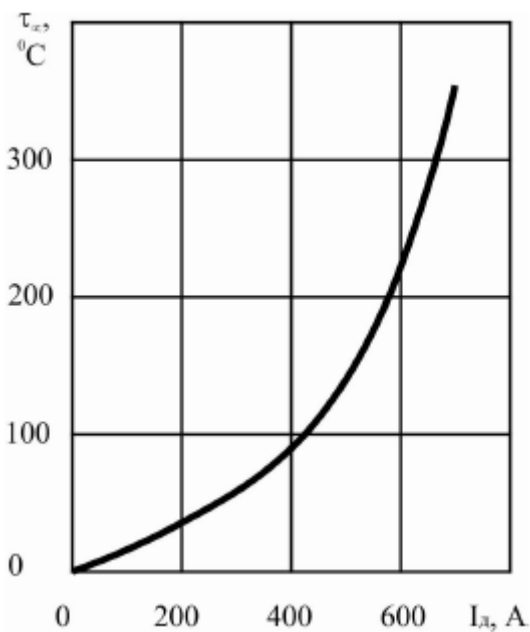


Рисунок 3.7 Теплові характеристики тягового електродвигуна ТЛ-2К1

Пристроєм для управління тягою локомотива служить кран машиніста. На локомотиві встановлено кран машиніста №395. Він виконує наступні функції:

- зарядку гальмової магістралі поїзда і повну відпустку гальм

- ступеневе і повне службове гальмування
- екстрене гальмування
- ступінчастий і повний відпуск гальма

Складається він з верхньої золотникової частини (золотника, що повертається ручкою), середній частині (дзеркала золотника), нижній зрівняльної і закріплених на нижній (зрівняльної) частини редуктора і стабілізатора.

Редуктор призначений для підтримки номінального зарядного тиску в гальмівній магістралі (ТМ), на електропоїздах зарядний тиск дорівнює 4,5-4,8 кг/см², на пасажирських близько 5,0, на вантажних зазвичай до 5,5. Редуктор регулюється на потрібне зарядний тиск і відкривається, з'єднуючи магістраль з головними резервуарами (ГР) для підживлення, лише при зарядному тиску в ТМ або нижче.

Стабілізатор має властивість знижувати тиск в ТМ темпом 0,2 кг/см² за 80-120 с. Після відпустки гальм у ТМ залишається над зарядний тиск (це необхідно для повного відпустки і швидкої перезарядки гальм), який необхідно знизити до зарядного таким темпом, щоб гальма знову не спрацювали - цей темп називається темпом м'якості, він і забезпечується стабілізатором.

Зрівняльна частина потрібна для підтримки в магістралі певного тиску нижче зарядного при переكريші. Так як з магістралі відбуваються різного роду виток, то підтримувати тиск вручну важко, тому на локомотиві мається зрівняльний резервуар (УР) обсягом 20 л, машиніст встановлює в ньому еталонний тиск і аналогічний тиск в ТМ підтримується зрівняльної частиною.

Золотник має сім положень:

I - відпустку і зарядка. У цьому положенні гальмівна магістраль і зрівняльний резервуар підключаються безпосередньо до головних резервуарів (ГР), тиск у ній різко підвищується - поширюється так звана відпускна хвиля. Повітророзподільники спрацьовують на відпустку. Це положення використовується для повної відпустки гальм і для контролю прохідності гальмівної магістралі;

II - поїзне з автоматичною ліквідацією надлишкової зарядки, в цьому положенні до зрівняльного резервуару підключені редуктор і стабілізатор. При тиску вище зарядного працює стабілізатор, плавно знижуючи тиск до зарядного, при зарядному тиску або нижче відкривається редуктор, що підживлює УР, а стабілізатор продовжує випуск повітря, чим досягається висока стабільність тиску;

III - перекриття без харчування магістралі. У цьому положенні УР з'єднується з ТМ через зворотний клапан, при падінні тиску в ТМ тиск падає і в УР, внаслідок чого вирівнююча частина не працює. У вантажних поїздах в третє положення кран машиніста ставлять при ознаках розриву ТМ, щоб упевнитися в швидкому падінні тиску, в пасажирських після ступені гальмування при зупинці під заборонний сигнал колійного світлофора і в разі пожежі на локомотиві;

IV – перекриття з живленням магістралі. Всі канали в дзеркалі перекриті золотником, вирівнююча частина підтримує в магістралі тиск, аналогічне тиску в ЗрР;

V_a - службове гальмування з уповільненою розрядкою зрівняльного резервуара. Застосовується в довгосоставних вантажних поїздах. Повітря з УР випускається через отвір діаметром 0,75 мм, тиск знижується темпом 0,5 кг/см² за 15-20 с, вирівнююча частина відповідно знижує тиск в ТМ, відбувається гальмування. Повільна розрядка виключає різкий вихід великої кількості повітря через кран машиніста і забезпечує більш рівномірне зниження тиску по довжині гальмівної магістралі, завдяки чому гальма спрацьовують синхронними;

V - службове гальмування. Повітря з УР виходить через отвір діаметром 2,3 мм, тиск у УР і слідом у ТМ знижується темпом службового (Не екстреного) гальмування, гальма поїзда спрацьовують.

VI - екстрене гальмування. Гальмівна магістраль безпосередньо з'єднується з атмосферою, повітря швидко виходить, повітророзподільники спрацьовують на гальмування, у разі наявності прискорювачів - спрацьовують прискорювачі. Зрівняльний резервуар також розряджається.

Перемикання в ланцюзі управління, а, отже, і в силовому ланцюзі здійснюють за допомогою спеціального апарата - контролера машиніста. Машиніст,

ставлячи головну рукоятку контролера на ту чи іншу позицію, підключає дроти ланцюга управління до джерела струму. При цьому спрацьовує певний апарат силового кола. Кожна позиція рукоятки контролера фіксується спеціальним чином, виключаючи мимовільний перехід з позиції на позицію без участі машиніста

Контролером машиніста називається апарат, за допомогою якого машиніст управляє роботою тягових двигунів. Зміною положення рукояток контролера машиніст дистанційно через ланцюга управління впливає на апарати силового ланцюга і викликає необхідні перемикання управляють кулачкові шайби, насаджені на вертикальні вали. Валами через передачу управляє машиніст за допомогою рукояток контролера.

Головна рукоятка, поєднана з головним валом, дозволяє управляти тяговими двигунами в режимі тяги. Вона має 37 позицій, не рахуючи нульової.

Гальмівна рукоятка сполучена з гальмівним валом, і при русі за годинниковою стрілкою має, крім нульовій позиції, 02-у і 15-у позиції регулювання струму збудження тягових двигунів в рекуперативному режимі. Переміщенням рукоятки проти годинникової стрілки включають чотири щаблі ослаблення збудження тягових двигунів.

Позиції головною і гальмівної рукояток фіксуються засувками рукояток і палами або виступами на секторах. Засувка своїм зубом входить в проріз сектора під дією пружини. Для перекладу рукоятки на наступну позицію необхідно притиснути засувку до рукоятки, при цьому зуб виходить з паза, зрушити рукоятку, звільнити засувку і вести рукоятку до западання зуба в наступний паз. Для переходу з 16-ї на 17-ю, з 27-ї на 28-у позиції головної рукоятки і при включенні ступенів ослаблення збудження гальмівної рукояткою необхідно таким же порядком натискати замість клямки кнопку.

Реверсивно-селективна рукоятка вставлена в проріз реверсивно-селективного вала, насаженого через кулькові підшипники на гальмівний вал. Цей реверсивно-селективний вал через зубчасту передачу з'єднаний з другим реверсивно-селективним валом, насадженим на підшипниках на головний вал. Рукоятка має дев'ять положень: нульове в центрі і по чотири положення в напрямках. Вперед при

перекладі проти годинникової стрілки і Назад при перекладі за годинниковою стрілкою. У напрямку Вперед перше положення М відповідає роботі в тяговому режимі і три наступні положення відповідають різними схемами з'єднання тягових двигунів в гальмівному режимі: паралельне П, послідовно-паралельне СП і послідовне С, Такі ж положення реверсивно-селективна рукоятка має В напрямку Назад. Реверсивно-селективна рукоятка знімна. Її можна зняти з контролера тільки в нульовому положенні.

Під впливом рукояток контролера змінюються ланцюга управління за рахунок включення або відключення контакторних елементів.

При великому числі контакторних елементів в контролері і великому числі позицій валів дуже важко розібратися, на якій позиції повинен включатися або відключатися даний контакторний елемент. Для спрощення і наочності порядок роботи контакторних елементів різних валів контролера зображують графічно. Такий графік називають розгорткою валів або барабанів і призводять зазвичай на принципових схемах ланцюгів управління. Так, на схемі ланцюгів управління електровоза ВЛ10 у лівій частині наведені розгортки гальмівного, реверсивно-селективного та головного валів. З правого боку розгортки вказані контакторні елементи та номери відповідних до них проводів, а зверху показані номери або позначення позицій рукояток. Включене положення контакторного елемента на даній позиції відрізняють на розгортці точкою (або широкою лінією).

Щоб виключити помилкові дії рукоятками контролера машиніста, їх блокують між собою таким чином.

Головна і гальмівна рукоятки замикаються в кульове положенні реверсивно-селективної рукояткою, встановленої також в нульове положення.

Переклад реверсивно-селективної рукоятки в робоче положення тягового режиму М призводить до розблокування головною рукоятки, і вона може бути встановлена на будь-яку позицію. При цьому реверсивно-селективна рукоятка блокується і не може бути зрушена в нульове положення.

На ходових позиціях (16, 27 і 37-й) головною рукоятки можна перемістити гальмівну рукоятку на позиції ослаблення збудження ОП1, ОП2, ОП3, ОП4. При

включенні шаблі ослаблення збудження на 16-й і 27-й позиціях головна рукоятка не може бути переміщена далі в бік 37-й позиції, Це можна зробити тільки після повернення гальмівної рукоятки на нульову позицію. Переклад головної рукоятки в сторону нуля при знаходженні гальмівної рукоятки на одній з позицій ОП викликає перехід гальмівної рукоятки на нульову позицію.

Якщо реверсивно-селективна рукоятка встановлена в положення гальмового режиму П, або СП, або С, то гальмівна рукоятка може бути переведена на 02-у позицію, після чого з'являється можливість пересунути головну рукоятку на 1-у позиції і тільки після цього можна буде пересунути гальмівну рукоятку до 15-й позиції.

Переклад гальмівної рукоятки в зворотному напрямку можливий тільки до 1-й позиції. Тільки після цього головну рукоятку можна перевести на нульову позицію, а потім і гальмівну.

На 1-ої позиції рукоятки контролера (див. рис. 48) замкнуті контакти контакторів 5-1, 6-1, 5-2, 6-2, 7-1, 8-1, 7-2, 8-2, тобто включена перша ступінь ослаблення збудження тягових двигунів (75%). Це суперечить твердженням, що ослаблення збудження застосовують тільки на ходових позиціях (див. с. 66), і викликане наступним. У процесі експлуатації першої партії електровозів ВЛ-10 неприпустимо нагрівалася частина секцій пускового реостата. Тому на локомотивах наступних випусків була збільшена потужність секцій, тобто збільшено число паралельно включених елементів. Однак виникли труднощі з їх розміщенням і довелося зменшити опір пускового реостата на 1-й позиції. У результаті струм тягових двигунів на 1-й позиції зріс понад допустимого за умовами плавного рушання. При цьому тягові двигуни розвивали б більший крутний момент і більше тягове зусилля. Щоб зберегти первинне значенням тягового зусилля при струмі, що збільшився, довелося зменшити магнітний потік (застосувати ослаблення збудження), а значить і крутний момент двигунів, так як при пуску ЕДС в якорях двигунів дорівнює нулю і зменшення потоку збудження не викликає зміни струму двигунів.

На 2-й позиції припиняють ослаблення збудження і сила тяги зростає. На 3-й позиції включається контактор 9-2 і тим самим виводиться ступінь пускового реостата R7-R8. При подальшому переміщенні головною рукоятки контролера відбувається ступеневу зменшення опору пускового реостата: повністю воно виводиться на 16-й (ходової) позиції.

Переходячи з одного реостатній позиції на іншу, машиніст, орієнтуючись на свідчення амперметрів Л, стежить за тим, щоб струм двигунів не перевищував допустимого за умовами зчеплення. Щоб запобігти підвищений нагрів секцій пускового реостата, розрахованих на короткочасне включення, рукоятку контролера затримують на реостатних позиціях не більше ніж на 30 с. Після того як рукоятка контролера буде встановлена на ходову позицію, машиніст для збільшення швидкості застосовує чотири щаблі ослаблення збудження. Щоб ще більше збільшити швидкість руху, він здійснює перехід на послідовно-паралельне з'єднання двигунів, але попередньо переводить двигуни в режим повного збудження. Для цього спочатку машиніст встановлює рукоятку контролера на 17-у позицію, при цьому в силовому ланцюзі відбуваються. Потім, переводячи рукоятку контролера, він знову ступенями зменшує опір пускового реостата: при цьому збільшується напруга, що підводиться до двигунів. На 27-й позиції повністю виводиться реостат; ця позиція є ходової. Потім машиніст може використовувати знову чотири щаблі ослаблення збудження, і швидкість руху поїзда ще більше зросте. Попередньо перевівши двигуни в режим повного збудження, машиніст встановлює рукоятку контролера на 28-у позицію, тобто здійснює перехід на паралельне з'єднання двигунів. На 38-й позиції пусковий реостат виведений - ця позиція також ходова.

Під час ведення поїзда найчастіше використовують паралельне з'єднання двигунів і застосовують при цьому ослаблення збудження. Якщо струм досягне занадто великого значення, наприклад, на крутому підйомі, переходять на більш низьку ступінь ослаблення збудження або на повне збудження. У тому випадку, коли необхідно значно знизити швидкість, машиніст переводить рукоятку контролера з 38-ї на 27-у або 16-у ходову позицію.

У процесі роботи може відбутися пошкодження одного з тягових двигунів. Щоб у цьому випадку потяг міг дійти до станції, передбачена можливість роботи електровоза з двома відключеними двигунами. Відключають їх ножами вимикачами двигунів, наприклад при пошкодженні двигуна I ножами ОД1, ОДП відключають двигуни I, II, і електровоз працює за аварійною схемою.

Для обліку витрати електроенергії встановлені два лічильники. Лічильник Сч1 враховує витрата електроенергії на тягу поїзда і власні потреби. У режимі рекуперації диск цього лічильника обертається в напрямку, протилежному напрямку його обертання в режимі тяги. Лічильник Сч2 призначений тільки для обліку рекуперованої енергії.

Поїзд , на якому випробовується адекватність моделі, складається з 38 чотиривісних суцільнометалевих напіввагонів, що мають повну завантаженість.

Технічні характеристики напіввагонів представлені у табл.3. 5.[29]

Таблиця 3.5

Технічні характеристики напіввагонів

Габарит	1-Т
Вантажопідйомність, т	69
Маса вагона (тара), т	22
Навантаження від осі колісної пари на рейки, кН (тс)	215,6 (22)
Швидкість конструкційна, км / год	120
Довжина по осях автозчеплень, мм	13920

Таким чином, довжина поїзду дорівнює:

$$L_{\text{п}} = L_{\text{лок}} + n \cdot L_{\text{ваг}} = 2 \cdot 32840 + 38 \cdot 13920 = 594640 \text{ мм} = 564,64 \text{ м} \quad (5.1)$$

де $L_{\text{лок}}$ – довжина локомотива по осях автозчеплень;

$L_{\text{ваг}}$ – довжина вагона по осях автозчеплень;

n – кількість вагонів у складі.

Для розрахунків необхідно вибрати певну ділянку колії. Для експериментальної перевірки вибрано ділянку між станціями А і Б. План і профіль ділянки зображено в Додатку.... Як видно з креслення, профіль ділянки складний, з попикетною розбивкою. В плані присутня велика кількість кривих, найменший радіус Відлік кілометражу і пікетів збережений відповідно до оригінального відрізка ділянки. Кожен пікет має свою величину ухилу. Найбільший ухил колії розташований на 9 пікеті 143 кілометра ділянки і дорівнює 12,2 ‰, тож, буде зазначений як розрахунковий.

Ширина колії стандартна і дорівнює 1520 мм. Використано рейки марки Р65, старогодні, що потребують заміни, тому коефіцієнт зчеплення у системі «колесо-рейка» є заниженим, а допустима швидкість зменшена і дорівнює 55 км/год. Колія ланкова на всій ділянці. Шпали залізобетонні.

Протягом ділянки прямування вантажного поїзда розташовано 4 зупиночні пункти для пасажирських поїздів, 11 залізобетонних мостів. Ділянка між станціями обладнана автоматичною сигналізацією і поділяється на 4 блок-ділянки, на границях яких встановлено світлофори.

3.5 Висновки до розділу 3

У пакеті MATLAB розроблено нейроадаптивну модель руху поїзда, яка у якості вихідної змінної видає номер позиції контролера машиніста в залежності від обраних поточних параметрів.

Наведено графічну схему моделі і функції належності вхідних змінних.

Для реалізації моделі вибрано локомотив, склад і ділянку колії, на якій буде виконуватись перевезення, описано їх характеристики. Розглянуто кран машиніста №395 і принцип його роботи.

За допомогою моделі для локомотива, складу вагонів і ділянки був змодельований режим переключення контролера машиніста, що дає можливість мінімізувати енергетичні витрати на тягу поїзда при ведінні поїзда на ділянці.

ВИСНОВКИ

Проведено аналіз існуючих систем і моделей автоматичного ведення поїзду. Виявлено, що сучасні погляди на автоматичне водіння поїздів засновуються на моделях нечіткої логіки, але мають певні недоліки, пов'язані з неточністю вимірювання параметрів руху поїздів та реалізацією моделі автоматичного ведення поїзду. У зв'язку з цим поставлено та вирішено наступні задачі:

1. Для математичної реалізації моделі системи автоматизованого управління тягою поїздів обрано метод нечіткої логіки. Розглянуто різновиди моделей нечіткої логіки. Для реалізації поставленої задачі вибрано модель Сугено.
2. Для інформаційного забезпечення системи автоматизованого управління тягою поїздів обрано технологію радіочастотої ідентифікації, в якості апаратної реалізації обрано високочастотні RFID мітки з можливістю перезапису. Створено технологічну схему використання технології RFID на ділянці руху поїзда.
3. Удосконалено існуючі нечіткі моделі управління тягою поїзду за рахунок використання адаптивних нейронечітких моделей. У пакеті MATLAB розроблено нейроадаптивну модель руху поїзда, яка в якості вихідної змінної видає номер позиції контролера машиніста в залежності від обраних поточних параметрів руху поїзда.
4. Для обраних моделі локомотива, складу вагонів і ділянки був змодельований режим переключення контролера машиніста, що дає можливість мінімізувати енергетичні витрати на тягу поїзда при русі поїзда на ділянці.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Сергієнко М. Стаття для газети «Магістраль», від 13.03 2013
2. Мишарин А.С. Проблемы ресурсосбережения на железнодорожном транспорте // Ресурсосберегающие технологии на железнодорожном транспорте: Труды конференции. МИИТ 2000,- С. 1-116.
3. Русак А.Д. Об использовании и экономии энергоресурсов в локомотивном хозяйстве // Железнодорожный транспорт.- 2002,- №2,- С. 26-29.
4. Мугинштейн Л.А. и др. Состояние и перспективы снижения удельных расходов электроэнергии на тягу поездов на сети железных дорог // Ж.д. трансп. Сер. Локомотивы и лок-е хоз-во.
5. Нехаев В.А. Оптимизация режимов ведения поезда с учетом критериев безопасности движения (методы и алгоритмы). Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук. Омск, 2000.
6. Баранов Л. А., Савоськина. Н., Пудовиков О. Е. Критерии качества регулирования скорости поезда // Мир Транспорта. – 2009. – №4. – С.50–56.
7. Ерофеев Е.В. Принципы построения систем автоведения поездов метрополитена и пассажирских поездов при электрической тяге. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук.- Москва, 1985.
8. Пясик М., Толстов Е., Случак И. Системы автоматического ведения поезда // Современные технологии автоматизации,- 2000,- № 4,- С. 26-28.
9. Иванов О.П., ассистент (ДНУЗТ имени академика В. Лазаряна). Статья «Развитие и автоматизация методов расчета оптимальных по стоимости потребленной электроэнергии режимов управления тягой грузовых поездов»
10. Пудовиков О. Е. , ГОУ ВПО «Московский государственный университет путей сообщения» (МИИТ), автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук
11. Zadeh L. Outline of a New Approach to the Analysis of Complex Systems and Decision Processes // IEEE Trans. Syst. Man Cybernet. №3. – 1973. – P. 28-44. (Русский

перевод: Заде Л. Основы нового подхода к анализу сложных систем и процессов принятия решений. В кн. «Математика сегодня». Пер. с англ. М.: Знание. – 1974. – С. 5-49).

12. Nauck D., Kruse R. Neuro-Fuzzy Systems for Function Approximation // Fuzzy Sets and Systems. – 1999. – Vol. 101, №2. – P. 261-271

13. Mamdani E, Assilian S. An Experiment in Linguistic Synthesis with Fuzzy Logic Controller // J. Man-Machine Studies. – 1975. – Vol. 7. №1. – P.1–13.

14. Дениско Н.П. Выбор метода интегрирования уравнения движения поезда для ЭЦВМ на основе статистической оценки точности тяговых расчетов. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. Москва, 1964.136

15. Сербер Дж, Линейный регрессионный анализ,- М.: Мир, 1980.458 с.

16. Теория электрической тяги / В.Е. Розенфельд, И.П. Исаев, Н.Н. Сидоров, М.И. Озеров; под ред. И.П. Исаева.- М.: Транспорт, 1995.- 294 с.

17. Правила тяговых расчетов для поездной работы / МПС СССР,- М.: Транспорт, 1985,- 287 с.

18. Бабичков А.М., Гурский П.А., Новиков А.П. Тяга поездов и тяговые расчеты. М.: Транспорт, 1971.- 280 с.

19. Деев В.В., Ильин Г.А., Афонин Г.С. Тяга поездов: Учебное пособие для вузов / Под ред. В.В. Деева.- М.: Транспорт, 1987,- 264 с.

20. Блохін Є.П., Пшінько О. М., Скалозуб В. В., Земляні У Б. Вибір енергетично оптимальних режимів ведення поїздів // Залізничний транспорт України. - 2001. - № 6. - С.19-22.

21. Кейзер А.П. Совершенствование режимов вождения поездов и повышение эксплуатационной надежности графика движения. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидат технических наук. Гомель, 1995.

22. Дж. Мартин. Организация баз данных в вычислительных системах,- М.: Мир, 1980,- 620 с.137

23. В.И. Городецкий, А.К., Элементы теории испытаний и контроля технических систем, - М.: Транспорт, 1995

24. Электровозы Вл-10 и ВЛ-10у. Руководство по эксплуатации / Под ред. О.А. Кикнадзе,- М.: Транспорт, 1981.

25. Железнодорожные транспортные средства: практикум: учебное пособие / Кузьменко С.В., Чередниченко С.П., Игнатъев О.Л.,– Луганск: Изд-во «Ноулидж», 2012. – 120 с.