

Міністерство освіти і науки України  
Львівський національний університет природокористування  
Факультет механіки, енергетики та інформаційних технологій  
Кафедра інформаційних технологій

## ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до кваліфікаційної роботи бакалавра на тему:

«АВТОМАТИЗАЦІЯ УПРАВЛІННЯ СИСТЕМОЮ СТРІЛОК  
ЗАЛІЗНИЧНОЇ СТАНЦІЇ»

Виконав: студент групи Акт-42зсп  
спеціальності 151 «Автоматизація та  
комп'ютерно-інтегровані технології»

Кобись Р.Я.

Керівник роботи:

Запорожцев С.Ю.

ЛЬВІВ-2024

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
 ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ  
 ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ  
 КАФЕДРА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Освітній ступінь «Бакалавр» за спеціальністю –  
 151 – „Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології”

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Завідувач кафедри \_\_\_\_\_  
 д.т.н., проф. А.М. Тригуба  
 “\_\_\_” \_\_\_\_\_ 202\_ р.

## ***ЗАВДАННЯ***

на кваліфікаційну роботу студенту  
 Кобись Роману Ярославовичу

### 1. Тема роботи

«Автоматизація управління системою стрілок залізничної станції»

Керівник роботи: Запорожцев Сергій Юрійович, к.т.н., доцент.

затверджена наказом по університету від “\_\_\_” \_\_\_\_\_ 202\_\_ р., № \_\_\_\_\_.

2. Строк подання студентом роботи: 10.06.2024 р.

3. Початкові дані до роботи:

Технологічні вимоги та обмеження для побудови автоматики на перегонах та станціях залізниці; ДСТи, СНіПи; Документація середовища AnyLogic

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки:

### 1 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ

1.1 Аналіз предметної області

1.2 Компоненти систем управління рухом

1.3 Стрілочні переводи

1.4 Світлофорна сигналізація на залізниці

### 2. ЗАСОБИ АВТОМАТИЗАЦІЇ УПРАВЛІННЯ РУХОМ ПОЇЗДІВ

2.1 Напівавтоматичне блокування

2.2 Автоматичне блокування

2.3 Автоматична локомотивна сигналізація та пристрої безпеки

2.4 Математичне моделювання режимів роботи станції

### 3 ОБґРУНТУВАННЯ ТА ВИБІР ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ

3.1 Моніторинг технологічного процесу станції в режимі реального часу

3.2 Побудова плану станції

3.3 Організація інформаційної структури станції

3.4 Огляд системи AnyLogic Cloud

### 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

### 5 ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВПРОВАДЖЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ

### ВИСНОВКИ

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):  
Системи управління рухом. Засоби автоматизації управління рухом поїздів.  
Інформаційні моделі системи управління станцією. Імітаційне моделювання.

6. Консультанти з розділів:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1, 2, 3, 5	<i>Запорожцев С.Ю., доцент кафедри інформаційних технологій</i>		
4	<i>Городецький І.М., доцент кафедри управління проектами та безпеки виробництва</i>		

7. Дата видачі завдання \_\_ \_\_\_\_\_ 202\_\_ р.

### ***КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН***

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Написання першого розділу та означення головних завдань роботи</i>	10.02 - 21.03.24	
2	<i>Виконання другого розділу та формування початкових даних</i>	22.03 - 11.04.24	
3.	<i>Виконання третього розділу та узагальнення отриманих результатів роботи</i>	12.04 - 11.05.24	
4.	<i>Написання розділу: «Охорона праці»</i>	12.05 - 17.05.24	
5.	<i>Вартісне оцінення ефективності пропозицій роботи</i>	18.05 - 23.05.24	
6.	<i>Завершення роботи в цілому</i>	24.05 - 10.06.24	

Студент \_\_\_\_\_ Кобись Р.Я.  
 (підпис)

Керівник роботи \_\_\_\_\_ Запорожцев С.Ю.  
 (підпис)

## РЕФЕРАТ

УДК 004.94 : 656.2

Автоматизація управління системою стрілок залізничної станції

Кобись Р.Я. Кафедра ІТ – Дубляни, Львівський НУП, 2024.

Кваліфікаційна робота: 65 с. текст. част., 23 рис., 13 арк. ілюстраційного матеріалу, 16 джерел.

Об'єкт дослідження – автоматизація процесу управління залізничним транспортом.

Мета роботи – розробка системи автоматизації управління системою стрілок залізничної станції.

Проведено аналіз предметної області та визначені особливості технологічного транспортного процесу на залізниці. Розглянуті основні засоби керування транспортним процесом, їх призначення та особливості використання. Описані підходи до вирішення завдань автоматизації на різних рівнях для роботи в напіваавтоматичних та автоматичних режимах для зберігання безпеки та визначених режимів роботи залізничних шляхів та станції. Обрано математичний апарат для моделювання режимів роботи стрілок станції з врахуванням особливостей роботи стрілок та руху транспорту. Обґрунтовані та вибрані технічні засоби автоматизації, здійснена розробка імітаційної моделі елементів залізничної станції. Запропоновані структура інформаційної системи та програмні засоби для імітаційного моделювання.

**Ключові слова:** система стрілок залізничної станції, автоматичне та напіваавтоматичне блокування, система імітаційного моделювання.

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	7
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ .....	9
1.1 Аналіз предметної області .....	9
1.2 Компоненти систем управління рухом .....	13
1.2.1 Реле .....	14
1.2.2 Трансміттери .....	15
1.2.3 Апаратура живлення сигнальних пристроїв .....	17
1.2.4 Системи електроживлення сигнальних пристроїв .....	19
1.3 Стрілочні переводи .....	20
1.4 Світлофорна сигналізація на залізниці .....	24
РОЗДІЛ 2. ЗАСОБИ АВТОМАТИЗАЦІЇ УПРАВЛІННЯ РУХОМ ПОЇЗДІВ ..	27
2.1 Напівавтоматичне блокування .....	27
2.1.1 Призначення і принцип дії напівавтоматичного блокування .....	27
2.1.2 Системи обліку руху та контролю прибуття поїзда .....	28
2.1.3 Колійні пости .....	29
2.2 Автоматичне блокування .....	30
2.2.1 Призначення і принцип роботи автоблокування .....	30
2.2.2 Види автоблокування та вимоги до нього .....	32
2.2.3 Принцип дії числового кодового автоблокування .....	33
2.2.4 Контроль інтервалів для автоматичного блокування .....	34
2.3 Автоматична локомотивна сигналізація та пристрої безпеки .....	36
2.4 Математичне моделювання режимів роботи станції .....	38
РОЗДІЛ 3. ОБҐРУНТУВАННЯ ТА ВИБІР ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ .....	42
3.1 Моніторинг технологічного процесу станції в режимі реального часу .....	42
3.2 Побудова плану станції .....	46
3.3 Організація інформаційної структури станції .....	48
3.4 Огляд системи AnyLogic Cloud .....	52

РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА ....	57
РОЗДІЛ 5. ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВПРОВАДЖЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ .....	60
ВИСНОВКИ .....	63
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ .....	64

## ВСТУП

Розробка та впровадження автоматизованих систем управління стрілками на залізничних станціях є актуальною темою, яка привертає все більше уваги в контексті сучасних транспортних технологій. Це пов'язано з багатьма факторами, серед яких головними є підвищення безпеки, ефективності, економічної вигоди та екологічної стійкості залізничних перевезень.

Управління стрілками є ключовим елементом у забезпеченні надійної роботи залізничної інфраструктури. Традиційні системи управління, які часто базуються на ручному управлінні або напівавтоматичних методах, мають обмеження щодо швидкості реагування, точності і надійності. Людський фактор завжди присутній у таких системах, що може призводити до помилок і аварійних ситуацій. Автоматизація управління стрілками значно знижує ризики, пов'язані з людськими помилками, забезпечуючи більш точне і своєчасне перемикання стрілок.

Однією з ключових переваг автоматизованих систем є підвищення швидкості і точності управління. Такі системи здатні швидко реагувати на зміни в русі поїздів, що дозволяє оптимізувати графіки руху і зменшити затримки. Це особливо важливо в умовах високої завантаженості залізничної інфраструктури, коли кожна секунда має значення для ефективної організації перевезень. Автоматизація також дозволяє більш ефективно використовувати наявні ресурси, зменшуючи потребу в ручній праці і знижуючи витрати на утримання персоналу.

Економічні аспекти також грають важливу роль в актуальності розробки таких систем. Хоча початкові інвестиції в автоматизацію можуть бути значними, довгострокові вигоди перевершують ці витрати. Зменшення кількості аварій і простоїв, а також підвищення пропускної здатності залізниць сприяють економічному зростанню і покращенню якості перевезень. Ефективніше

управління стрілками також знижує знос інфраструктури, що веде до зменшення витрат на ремонт і обслуговування.

Крім економічних і операційних переваг, автоматизація управління стрілками мають значний екологічний вплив. Ефективніше використання залізничної інфраструктури означає менше споживання енергії і зниження викидів парникових газів. Це важливо в контексті глобальних зусиль з боротьби зі зміною клімату і переходу до більш сталих методів транспорту. Залізничні перевезення вже є більш екологічно чистими порівняно з автомобільними і авіаційними перевезеннями, і автоматизація може зробити їх ще більш привабливими з точки зору екології.

З соціальної точки зору, впровадження автоматизованих систем управління стрілками може мати позитивний вплив на зайнятість. Хоча автоматизація знижує потребу в деяких категоріях працівників, вона також створює нові робочі місця в галузях, пов'язаних з розробкою, обслуговуванням і модернізацією автоматизованих систем. Це сприяє розвитку нових професій і підвищенню рівня кваліфікації працівників.

Таким чином, автоматизація управління стрілками на залізничних станціях є важливою складовою модернізації транспортної інфраструктури. Розробка і впровадження таких систем є стратегічним напрямком розвитку, який відповідає викликам і потребам сучасного світу, а дана кваліфікаційна робота спрямована саме на рішення таких задач автоматизації.



## РОЗДІЛ 1

### ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ

#### 1.1 Аналіз предметної області

Залізничний транспорт [1] - це складна транспортна система з великими обсягами перевезень і інтенсивністю руху на обмеженій кількості шляхів сполучення, що вимагає чіткої організації транспортного процесу.

Регулювати рух поїздів вручну вкрай складно, неефективно і дуже небезпечно.

Використання систем управління дорожнім рухом з високим ступенем автоматизації значно підвищує пропускну здатність залізниць, забезпечує безпеку руху та оперативне управління процесом перевезення, позитивно впливає на зростання продуктивності праці працівників, задіяних у залізничному русі.

Під системами управління рухом на залізничному транспорті розуміють сукупність взаємопов'язаних засобів автоматизації, телемеханіки і зв'язку, за допомогою яких здійснюється оперативне управління транспортним процесом при безумовному забезпеченні безпеки руху поїздів.

Залежно від місця застосування системи управління дорожнім рухом поділяються на ходові (перегінні) та станційні. Розглянемо обидві ці системи управління

Перегінні системи забезпечують регулювання руху поїздів по коліях перегонів.

Вони дозволяють або забороняють відправлення поїзда на ділянку (ділянку перегонної колії), виключають можливість відправки поїзда на зайняту ділянку або ділянку колії, а також не допускають відправлення поїздів у зворотному напрямку по тій же колії перегону.

Перегінні системи залізничного руху включають [2]:

- напівавтоматичне блокування (ПАБ), при якому сигнали, що дозволяють поїзду зайняти ділянку, відкриваються певними діями працівників, що контролюють рух поїздів, і закриваються автоматично;

- автоматичне блокування (АБ), при якому світлофори, що огорожують блок-секції, управляються поїздом, що рухається (без участі людини);

- автоматична локомотивна сигналізація (АЛС) і пристрої безпеки локомотива. За допомогою системи АЛС показання підлогових світлофорів передаються в кабіну водія кодовими сигналами. Крім того, АЛС доповнюється автостопом пристроєм для перевірки пильності машиніста і контролю швидкості руху поїзда;

- автоматична сигналізація залізничних переїздів, що застосовується на залізничних переїздах для попередження водіїв автотранспортних засобів про наближення поїздів до залізничних переїздів та заборони руху транспортних засобів через переїзд;

- диспетчерський контроль рухом поїздів, який допомагає поїзному диспетчеру оперативно управляти рухом поїздів на ділянці і надає черговим по станції інформацію про наближення поїздів.

Станційні системи забезпечують взаємну залежність стрілок і сигналів при прийомі і відправленні поїздів, контролюють положення стрілочних переводів, не допускають їх перенаправлення на вже заданому маршруті, замикають їх в одному з крайніх положень; при обладнанні колій і стрілочних ділянок рейковими ланцюгами контролюють їх вільність або завантаженість рухомого складу.

До станційних пристроїв відносяться [3]:

- ключова залежність, що використовується на станціях, де збережено ручне керування вимикачами, що забезпечують взаємне замикання вимикачів і сигналів за допомогою контрольних замків (в даний час практично не застосовуються);

- електрична централізація вимикачів і сигналів (ЕЦ), що забезпечує управління вимикачами і сигналами з пульта, їх взаємозалежність, контроль

стрілок і виключення перемикачів під рухомим складом, а також відкриття світлофорів на займаній колії;

- диспетчерська централізація (ДЦ), що дозволяє управляти вимикачами і сигналами ряду станцій з однієї точки і стежити за положенням стрілочних переводів, станом зайнятості або вільності колій, стрілочних ділянок і прилеглих блок-ділянок, змінювати показання вхідних і вихідних сигналів в межах диспетчерського кола;

- засоби автоматизації і механізації сортувальних гірок, що дозволяють управляти стрілочними переводами і гірковими сигналами, регулювати швидкості руху і розчинення поїздів.

Автоматична локомотивна сигналізація, диспетчерська централізація і автоматичні пристрої огорожі на залізничних переїздах можуть регулювати рух поїздів як на ділянках, так і на станціях, тому ці системи можна віднести як до ходових, так і до станційних.

Найбільш досконалою системою регулювання руху поїздів на ділянках є автоматичне блокування, що забезпечує значне збільшення пропускної здатності залізничної лінії.

Серед станційних систем найбільш ефективним з точки зору скорочення часу на підготовку маршруту є маршрутно-релейне електричне блокування блочного типу (БМРЦ), яке в порівнянні з ключовою залежністю збільшує пропускну здатність станції на 50-70%.

В даний час широко впроваджуються мікропроцесорні електричні системи блокування (МПЦ).

До засобів механізації та автоматизації сортувальних станцій і гірок відносяться АРС (автоматичне управління швидкістю розчеплення відчепів), ГПМП (гірково-програмний майстер-пристрій), ГАЦ-МН на мікропроцесорах, ГАЛС Р (гірковий АЛС з передачею інформації по радіоканалу і дистанційним керуванням локомотива) та ін. [4]

Таким чином, системи управління рухом служать для автоматизації процесів контролю і регулювання руху поїздів. Ці системи постійно

вдосконалюються, що підвищує техніко-економічні показники залізничного транспорту.

В даний час ці системи переживають перехід на нову елементну базу, мікроелектронну і мікропроцесорну апаратуру, використовуються малогабаритні реле підвищеної надійності.

Велике значення для регулювання руху поїздів на залізничному транспорті мають пристрої проводового і радіозв'язку, які дозволяють вести оперативне управління рухом і координувати роботу підрозділів залізничного транспорту.

Залізнична мережа обладнана магістральним, диспетчерським і станційним зв'язком.

Крім того, широко використовуються цифрові системи передачі інформації.

Умовна схема взаємодії різних систем автоматики та телемеханіки на залізниці [5] наведена на рис.1.1.

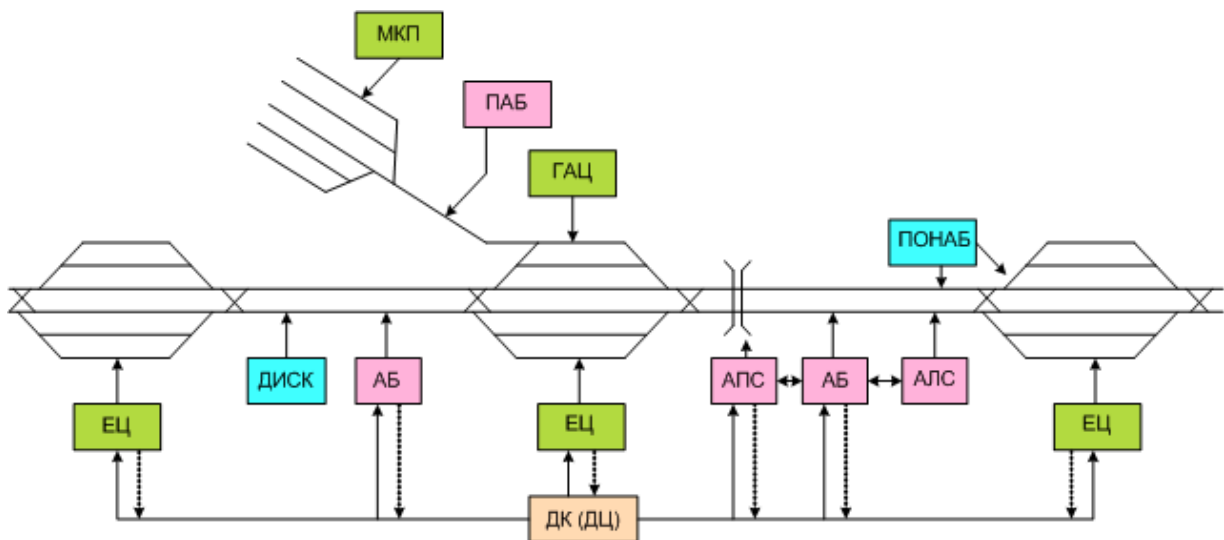


Рисунок 1.1 - Схема взаємодії систем залізничної автоматики

## 1.2 Компоненти систем управління рухом

Будь-яка система управління рухом поїздів являє собою складну структуру [6], що складається з великої кількості елементів, з'єднаних електрично.

Основні елементи систем управління рухом такі: електричні датчики, електричні фільтри, реле, передавачі (трансміттери), декодери, стабілізатори, підсилювачі, електродвигуни та інші.

Електричні датчики призначені для перетворення неелектричних фізичних величин в електричні.

Вони дозволяють фіксувати зміни стану об'єктів, що контролюються системою.

При зміні вхідної (неелектричної) величини змінюється вихідна (електрична) величина (плавно або стрибкоподібно).

Прикладами датчиків є магнітні педалі в системах підрахунку осей рухомих вузлів, електричні рейкові ланцюги, інфрачервоні датчики систем виявлення нагріву букс (ДИСК) та ін.

Електричні фільтри пропускають електричні сигнали однієї частоти і перешкоджають проходженню сигналів інших частот. Вони використовуються в системах регулювання частоти, в яких по обмеженій кількості фізичних ліній передається велика кількість керуючих і контрольних сигналів.

Реле призначені для замикання і розмикання (перемикання) електричних ланцюгів шляхом зміни вхідних електричних значень в заданих межах.

Перш за все, це необхідно для реалізації схематичних залежностей між компонентами систем управління рухом.

Передавачі виробляють імпульсні електричні сигнали (послідовності імпульсів електричного струму).

Декодери обробляють отримані комбінації електричних імпульсів і формують електричні сигнали для управління наступними елементами систем управління рухом.

Стабілізатори підтримують сталість вихідного електричного значення при зміні вхідного електричного значення в допустимих межах.

Підсилювачі використовуються для збільшення амплітуди (сили) електричних сигналів.

Електродвигуни перетворюють електричну енергію в механічну, щоб впливати на об'єкти управління або регулювання.

До елементів систем управління дорожнім рухом пред'являється ряд загальних вимог.

Всі елементи повинні мати високу надійність і захист від перешкод та інших зовнішніх факторів, мати невеликі габаритні розміри і вагу, легко замінюватися і бути доступними для ремонту і профілактики.

У разі виходу з ладу будь-якого компонента повинні бути виключені стани системи, що створюють загрозу безпеці руху поїздів.

До елементів, що встановлюються на локомотивах і в релейних шафах на коліях, пред'являються додаткові вимоги по вібростійкості, пило- і вологозахисту.

### 1.2.1 Реле

Реле - це комутаційний пристрій, в якому при плавній або стрибкоподібній зміні вхідної електричної величини (напруги, струму в первинному ланцюзі) відбувається стрибкоподібна (стрибкоподібна) зміна вихідної електричної величини внаслідок розмикання або замикання контактів, або зміна електричного опору у вихідному електричному ланцюзі.

Залежно від виду струму, що протікає в первинному (керуючому) ланцюзі, реле можуть бути постійного струму і змінного струму.

Найбільш поширеними є електромагнітні реле, в яких різка зміна сили струму у вихідному ланцюзі досягається її фізичним розривом внаслідок замикання або розмикання контактів.

Такі реле прості і надійні в експлуатації і можуть забезпечити незалежне одночасне перемикання великої кількості вихідних ланцюгів.

Реле, в яких всі групи контактів перемикаються одночасно при пропусенні струму будь-якої полярності через обмотку котушки, називаються нейтральними реле.

Реле, в яких групи контактів перемикаються в залежності від напрямку струму, що протікає по обмотці котушки, називаються поляризованими реле.

За ступенем надійності реле поділяються на класи.

Клас надійності реле визначається наявністю гарантії повернення якоря у вихідне положення при відключенні струму в обмотці котушки, незварюваності контактів, захистом контактної системи від зовнішніх впливів (розімкнутих, замкнутих, герметичних).

У системах управління рухом використовуються реле не нижче другого класу.

За часом спрацьовування реле поділяються на швидкісні (час відгуку до 0,03 с), нормальні (час спрацьовування до 0,2 с) і повільної дії (час відгуку до 1,5 секунди).

### 1.2.2 Трансміттери

Трансміттери використовуються в пристроях автоматики і телемеханіки в якості генераторів імпульсів. Вони використовуються для перетворення постійного або змінного струму безперервного в імпульсний. Найбільшого поширення набули маятникові і кодові трансміттери.

Маятникові передавачі виробляють рівномірні імпульси постійного струму і використовуються для імпульсного живлення рейкових ланцюгів (МТ-1) і для управління роботою проблискових маячків світлофорів електричного блокування, автоматичного блокування і сигналізації залізничних переїздів (МТ-2).

Маятникові передавачі являють собою електромагнітний механізм постійного струму з маятником, що коливається, встановленим на одній осі з трьома кулачковими шайбами, що діють на три контакти: замикаючий, розмикаючий і керуючий.

Безперервне розгойдування маятника і, відповідно, замикання і розмикання контактів при підключенні блоку живлення до передавача забезпечується двома котушками і керуючим контактом.

Кодові колійні передавачі використовуються в кодових числових системах автоматичного блокування і автоматичної локомотивної сигналізації для генерації кодових імпульсів електричного струму, що направляються в колійні ланцюги.

Кодовий трековий передавач штепсельного типу КПТШ має двигун змінного струму напругою 220 В, черв'ячний редуктор і вал, на якому встановлені кодові шайби з різною кількістю порожнин.

При обертанні валу кодові шайби впливають на контакти, змушуючи їх замикатися і розмикатися.

Передавачі мають три групи контактів і утворюють комбінації трьох типів:

- код «З» – три імпульси протягом одного кодового циклу – відповідає зеленому світлу трекового світлофора;

- код «Ж» – два імпульси протягом одного кодового циклу – відповідає жовтому світлу трекового світлофора;

- код «КЖ» один імпульс протягом одного кодового циклу – відповідає червоному світлу світлофора.

Істотними недоліками електромагнітних реле і електромеханічних передавачів є залежність терміну їх служби від числа спрацьовувань і низька швидкість через наявність механічної частини з інерцією.

В даний час в сигналізаторах широко використовуються електронні пристрої на основі напівпровідникових, інтегральних і мікропроцесорних баз, які характеризуються високою відмовостійкістю, швидким відгуком, невеликими розмірами.

Елементами таких пристроїв є діоди, транзистори, інтегральні мікросхеми, мікропроцесори.

Прикладами таких пристроїв є безконтактні реле струму (БКТ), які прийшли на зміну електромагнітним реле і маятниковим передавачам, і безконтактні передавачі кодової доріжки (БКПТ).

### 1.2.3 Апаратура живлення сигнальних пристроїв



Живлення пристроїв залізничної автоматики і телемеханіки здійснюється від високовольтної сигнальної лінії напругою 6 або 10 кВ, а також від електричних мереж напругою 220 або 380 В.

Трансформатори, випрямлячі, перетворювачі і акумуляторні батареї використовуються в системах живлення сигнальних пристроїв.

Трансформатори використовуються для зниження або підвищення напруги змінного струму.

На залізниці трансформатори використовуються для подачі змінного струму на різні ланцюги автоблокування і електричного блокування.

Трансформатори поділяються на:

- лінійні - використовуються для зниження високої напруги (6 – 10 кВ) до нижчої напруги (220 або 110 В). Такі трансформатори встановлюються на опорах ліній електропостачання, або на окремих фундаментах і можуть мати масляне охолодження;

- колійні - використовуються для живлення ланцюгів кодової рейки змінного струму. Первинна обмотка таких трансформаторів підключається до мережі напругою 220 або 110 В, а з вторинної секційної обмотки можуть зніматися різні напруги;

- сигнальні - призначені для живлення світлофорних ламп і апаратури управління сигнальними установками. Первинна обмотка розрахована на напругу 220 або 110 В, на вторинній обмотці можна отримати напругу 12, 20 або 38 В;

- релейні – використовуються для узгодження приймальних пристроїв рейкового кола з рейковою лінією;

- силові - використовуються для живлення виконавчих механізмів електричного блокування. Вони забезпечують до 25 кВт потужності в ланцюзі споживача.

Випрямлячі служать для перетворення однофазного змінного струму на постійний.

У пристроях СЦБ вони призначені для роботи з акумуляторними батареями за буферною системою та безпосередньо для живлення релейних ланцюгів постійним струмом.

Випрямляч складається з понижуючого трансформатора і випрямного стовпчика, або випрямного моста.

Первинна обмотка трансформатора підключається до ланцюга змінного струму напругою 110 або 220 В частотою 50-75 Гц. Вторинна обмотка з'єднана з випрямним мостом.

Вихід випрямляча забезпечує випрямлений постійний струм.

Кислотні акумулятори в скляних посудинах використовуються для аварійного живлення ланцюгів постійного струму.

Напруга на одному повністю зарядженому акумуляторі становить 2,2 В; Номінальна ємність 80 Ач.

Окремі батареї об'єднуються в акумуляторні батареї для збільшення загальної напруги та/або ємності.

Для зарядки акумуляторів використовується буферний зарядний пристрій. Він може працювати в буферному режимі або в режимі посиленого акумулятора.

Перемикання з одного режиму в інший відбувається автоматично. При зниженні напруги на акумуляторі до 2,1 В пристрій починає працювати в режимі примусової зарядки, якщо напруга підвищується до 2,5 В, переходить в буферний режим.

Електромагнітні, статичні і напівпровідникові перетворювачі частоти призначені для перетворення змінного струму частотою 50 Гц в змінний струм частотою 25 або 75 Гц і використовуються для живлення рейкових ланцюгів.

#### 1.2.4 Системи електроживлення сигнальних пристроїв

Сигналізатори відносяться до першої категорії споживачів електроенергії, порушення роботи яких може створити загрозу безпеці руху, привести до збою в графіках руху, пошкодження обладнання і т.д.

У зв'язку з цим живлення сигналізаторів завжди йде від одного з двох незалежних джерел - основного або резервного.

В даний час використовуються дві системи електропостачання: акумуляторна (змішана) і безакумуляторна.

Основне живлення сигнальних пристроїв в обох системах здійснюється від трипровідної повітряної високовольтної сигнальної ПЛ напругою 6 або 10 кВ, побудованої вздовж залізничної колії на окремих опорах.

Резервне живлення в змішаній системі забезпечується від акумуляторних батарей, розміщених в спеціальних акумуляторних шафах, а в безакумуляторній - від трипровідної повітряної лінії, підвішеної на опорах контактної мережі на додаткових бічних кронштейнах.

У разі припинення подачі змінного струму від основної високовольтної лінії живлення пристроїв системи сигналізації автоматично перемикається на акумуляторну батарею (на ділянках з автономною тягою) або на резервну високовольтну лінію (на ділянках з електричною тягою).

Перехід від основного до резервного джерела живлення і назад повинен займати не більше 1,3 с.

У змішаній системі споживачі повинні бути забезпечені живленням від акумулятора не менше 8 годин за умови, що основне джерело живлення не було вимкнено протягом попередніх 36 годин.

Пристрої ЕЦ великих станцій відносяться до споживачів особливої групи, так як в сучасних релейних ланцюгах не можна допускати навіть короткочасних (менше 1 с) перерв в електроживленні, що призводять, наприклад, до розмикання ланцюгів, що самоблокуються.

Крім того, з пульта завжди повинна бути можливість управляти запрошеними сигналами світлофорів і отримувати на табло хоча б мінімальну інформацію про зайнятість підхідних ділянок і станційних колій.

Живлення ЕЦ-пристроїв великих станцій здійснюється через безакумуляторну систему з локальним резервуванням.

Пристрої ЕЦ отримують живлення від двох незалежних джерел живлення (фідерів) від зовнішніх мереж, стан яких контролюється на черговому табло станції.

Для аварійного живлення обладнання ЕЦ (у разі відсутності напруги в обох фідерах) передбачено локальне резервне живлення від автоматизованої дизель-генераторної установки (ДГА) та контрольної батареї.

Призначення контрольної батареї - підтримання живлення реле з ланцюгами, що самоблокуються, протягом часу, необхідного для запуску дизель-генератора, і забезпечення резервного живлення червоних і запрошених вогнів під'їзних світлофорів.

Як тільки на одному з фідерів відновлюється електропостачання, електростанція ДГА відключається.

### 1.3 Стрілочні переводи

Стрілочні переводи [7] служать для переведення вагонів з однієї колії на іншу.

Кожна з них складається з трьох основних частин (рис.1.2):

- сама стрілка, яка включає два наконечника з шатунами, дві рамні рейки та механізм передачі;
- поперечина (хрестовина), яка складається з однієї поперечної та двох контррейок;
- з'єднувальна доріжка між стрілкою і поперечиною (переносна крива).

Рух стрілки відбувається вліво і вправо (зміщується вправо або вліво). Залежно від положення вістря стрілки (права або ліва вістря притиснута до рамної рейки) можна рухатися прямо або в той бік, який є на пристрої передачі стрілки.

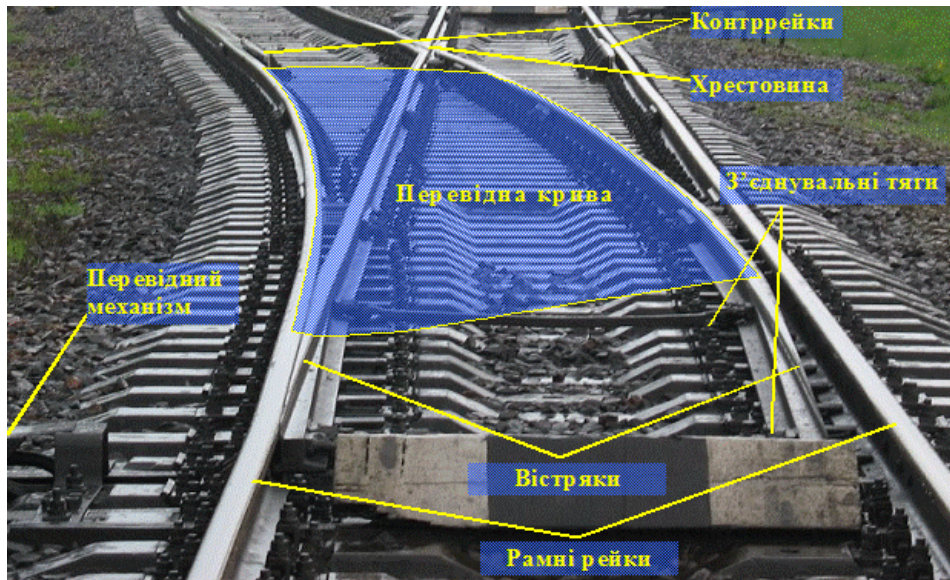


Рисунок 1.2 - Стрілочний перевід

Можливі приклади положення стрілки і напрями руху наведені на рисунку 1.3.



а)



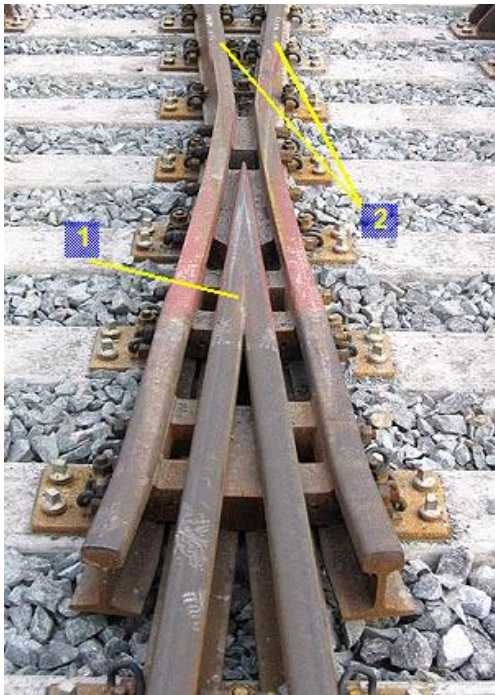
б)

Рисунок 1.3 - Напрями руху на стрілці:

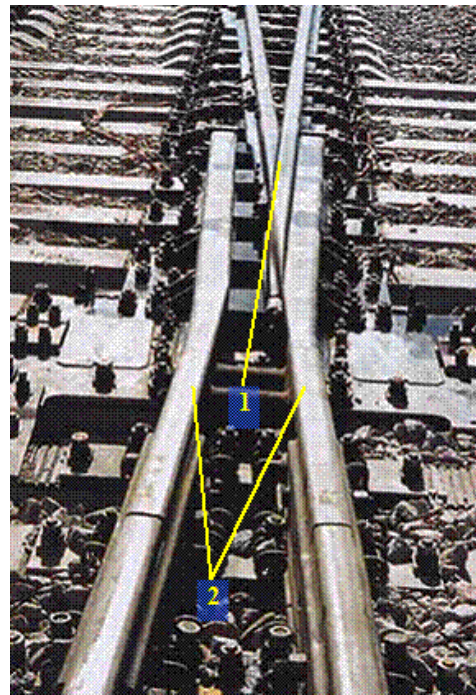
а – прямо; б – з відхиленням

Стрілки поділяються по типам і маркам хрестовин. В основному використовуються стрілки Р75, Р65, Р50. Марки звичайних хрестовин: 1/6, 1/9, 1/11, а для швидкісних поїздів - 1/18 (80 км/год) та 1/22 (120 км/год).

Хрестовини різного типу наведено на рис.1.4.



а)



б)

Рисунок 1.4 - Хрестовини різного типу:

а – з нерухомим; б – з рухомим осердям; 1 – осердя; 2 – вусовик

Окрім простих стрілок зустрічаються різновиди. Наприклад, стрілочний перехресний перевід зображено на рис.1.5, а можливі напрямки руху на ньому - на рис.1.6.



Рисунок 1.5 - Перехресний стрілочний перевід



Рисунок 1.6 - Напрямки руху на перехресному стрілочному переводі

Стрілочна вулиця - це послідовно розташований на певній розрахунковій відстані стрілочний перевід, призначений для з'єднання групи паралельних колій. Залежно від конструкції стрілочні вулиці поділяють на найпростіші (по куту перемички і по головній колії), скорочені, двокутні хрестові, віялові (концентричні і неконцентричні), балочні і комбіновані. Приклади стрілочних вулиць наведені на рис.1.7.

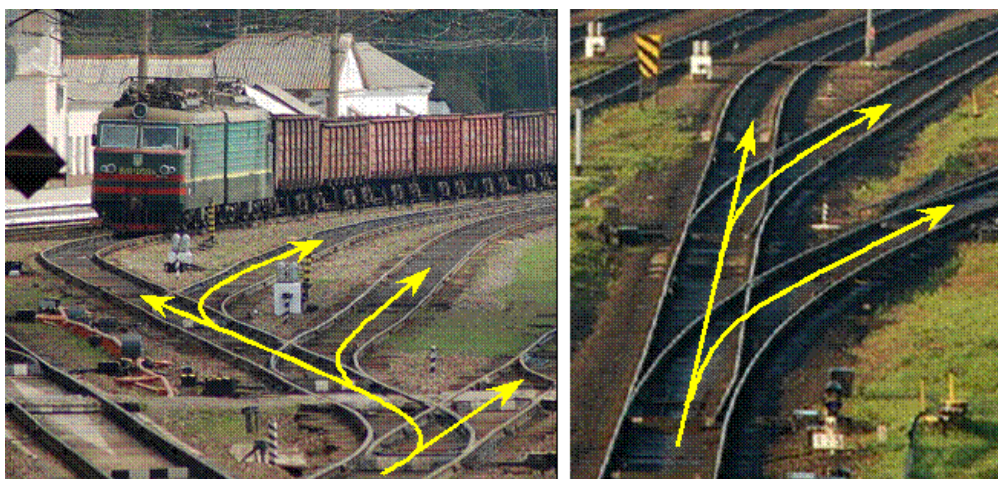


Рисунок 1.7- Приклади стрілочних вулиць

Стрілочні приводи мають два положення: нормальне (плюс) і перекладене (мінус). Напрямок руху в позитивне положення вказано на корпусі

електроприводу стрілкою. Електропривод, встановлений на вимикачі, повинен мати можливість переміщати точки вимикача в одне з крайніх положень (плюс-мінус), забезпечуючи при цьому щільне прилягання притиснутої точки до рейки рами або рухомого сердечника хрестовини до огороження, а також відведення іншої точки від рейки рами на відстань не менше 125 мм, запобігаючи замиканню точок стрілки при зазорі між притиснутою точкою і рейкою рами 4 мм і більше.

Електропривод повинен мати можливість працювати в трьох режимах:

- нормальний, коли голка переміщається з одного положення в інше і дає контроль над кожним положенням;
- недохід стрілки на 4 мм і більше у разі виникнення перешкоди між точкою та рейкою рами;
- зрізання стрілки, коли стрілочні точки примусово переміщуються під дією рамп колісних пар.

#### 1.4 Світлофорна сигналізація на залізниці

Світлофорна сигналізація на залізничному транспорті [8] заснована на швидкісному принципі, згідно з яким кожна сигнальна індикація передає машиністу вимогу не тільки про заборону або дозвіл руху, але і про величину дозволеної швидкості. При цьому кожна дозвільна індикація містить одночасно дві вимоги: основне - про допустиму швидкість наступного світлофора, а попереджувальне - про дозволена швидкість наступного світлофора.

З точки зору регулювання світлофорів весь діапазон швидкостей ділиться на етапи:

- максимальна (задана) швидкість  $V_{ум}$ ;
- нуль (зупинка)  $V_0$ ;
- проміжні, викликані рухом поїздів по стрілочних переводах з відхиленням на бічну колію: проміжна зменшена  $V_1$  (25-50 км/ч) при русі по стрілках з марками хрестовин 1/9, 1/11; проміжна підвищена  $V_2$  (80, 120 км/ч) – при марках хрестовин 1/18, 1/22.



Передача необхідної кількості наказів на допустимих швидкостях досягається за рахунок кольору (поєднання кольорів), кількості і режиму горіння (не миготіння або миготіння) світлофорів, а також використання додаткових зелених смуг, що світяться. При цьому колір і режим горіння світлофора (крім червоного) або верхнього світла з декількома вогнями, що горять одночасно, завжди вказують на вимогу сигналу наступного світлофора.

Вимоги щодо зниження швидкості при наближенні до в'їзного, маршрутного або виїзного світлофора передаються двома одночасно запаленими вогнями, з яких нижній завжди жовтий і не миготливий. Проміжна швидкість, при якій дозволяється проїзд світлофора, визначається наявністю або відсутністю зеленої смуги, що світиться: знижена (не більше 50 км/год) - відсутність зеленої смуги при запалюванні двох вогнів на світлофорі); підвищена швидкість не більше 80 км/год – за рахунок наявності однієї смуги, що світиться зеленого кольору, при включенні двох вогнів на світлофорі; підвищена швидкість не більше 120 км/год – за рахунок наявності двох зелених смуг, що світяться, при включенні двох вогнів на світлофорі.

Один жовтий проблісковий маячок повинен використовуватися для попередження водія про наближення до світлофора з двома жовтими вогнями (включаючи миготливе верхнє світло), що вимагає проміжного зниження швидкості. Один зелений проблісковий маячок попереджає водія про те, що він наближається до світлофора з зеленою смугою, що світиться (дві зелені смуги, що світяться), що вимагає проміжної підвищеної швидкості.

Стоп-сигнал – один червоний сигнал не містить попередження і лише забороняє рух.

Сигнал запрошення – миготливе місячно-біле світло вмикається черговим по станції на в'їзному світлофорі у випадках несправності приладів автоматики та телемеханіки, що призводить до неможливості відкриття світлофора на дозвільне світло. Сигнал запрошення дозволяє з особливою пильністю і готовністю до зупинки при виникненні перешкоди для подальшого руху

проїхати через світлофор з червоним світлом, з незрозумілою індикацією або з не запаленими вогнями.

Таким чином, ми бачимо, що на залізниці застосовуються дуже багато різних пристроїв для управління рухом поїздів. Розглянемо більш докладно засоби автоматизації, які використовуються на залізниці, зокрема на залізничних станціях та стрілках. Також доцільно торкнутись математичного моделювання режимів роботи станції для вирішення завдання автоматичного створення необхідної конфігурації станційних стрілочних переводів.

## РОЗДІЛ 2

### ЗАСОБИ АВТОМАТИЗАЦІЇ УПРАВЛІННЯ РУХОМ ПОЇЗДІВ

#### 2.1 Напівавтоматичне блокування

##### 2.1.1 Призначення і принцип дії напівавтоматичного блокування

Напівавтоматичне блокування (ПАБ) відноситься до ходових пристроїв і служить для регулювання руху поїздів по одноколійних і двоколійних залізничних лініях. [9] У разі напівавтоматичного блокування сигнали контролюються частково вручну працівниками транспортної служби, а частково автоматично впливом поїзда, що рухається, на колійні пристрої та колійні ланцюги. При напівавтоматичному блокуванні огорожена (перекрита) ділянка колії є міжстанційним (між окремими пунктами) або міжпостовим (частина ділянки між станцією і колійним постом, або між стовпами). Право поїзда зайняти міжстанційний або міжпостовий перегін на ПАБ з'являється при дозвільному сигналі на проїзд.

На ПАБ найчастіше використовуються світлофори з двозначною сигналізацією: червоне світло, що забороняє рух, і зелене світло, що дозволяє.

Пристрої ПАБ не допускають відкриття вихідного або прохідного сигналу до тих пір, поки не буде очищений захищений ними міжстанційний або міжпостовий перегін, а на одноколійних ділянках після відкриття виїзного світлофора на станції виключається можливість відправлення поїзда з сусідньої станції в зворотному напрямку. На двоколійних ділянках поїзди рухаються тільки в одному напрямку на кожній колії, тому вони повинні бути огорожені тільки від хвоста, так як зустрічний рух виключений. Виїзні світлофори на двоколійній ділянці зазвичай закриті, але не закриті. Для відправлення поїзда готується маршрут і відкривається виїзний світлофор з відповідної колії. Після того, як поїзд зайнятий, виїзний світлофор автоматично закривається і закривається. Світлофор закривається після отримання сигналу з сусідньої станції про фактичне прибуття відправленого поїзда.

Таким чином, управління світлофорами здійснюється колійними (перегінними) блокувальними пристроями за безпосередньої участі чергових по станціях. Окремі пункти (станції, колійні пости), що обмежують перегін, обладнуються блокувальними пристроями і релейними пристроями і з'єднують їх між собою електрично двопровідною лінійною схемою. Натисканням відповідних кнопок на апаратурі управління черговий по лінії повинен подати сигнал блокування на сусідню станцію.

На залізницях в основному використовуються релейні системи РАВ. У цих системах всі взаємопов'язані залежності і необхідні замикання здійснюються електромагнітними реле.

### 2.1.2 Системи обліку руху та контролю прибуття поїзда

У ПАБ є пристрої, які фіксують проїзд поїздів і автоматично закривають світлофори в'їзду і виходу під час прийому і відправлення. Прибуття поїзда з ділянки на станцію контролюється блокувальними пристроями, які дають можливість подати сигнал блокування на станцію відправлення після перерізання приймального маршруту. На ПАБ рейкові колії влаштовуються на головних і приймально-відпускних коліях станцій, а також в стрілочних горловинах. Автоматичне замикання вхідних і вихідних сигналів здійснюється впливом колісних пар поїзда на колійний ланцюг (РЦ).

Контрольні прилади для фіксації фактичного прибуття поїзда на станцію не дозволяють визначити, чи прибув поїзд в повному складі або частина його залишилася на ділянці. Тому ДСП зобов'язаний переконатися в тому, що поїзд прибув з ділянки в повну силу, перш ніж подавати блокуючий сигнал про прибуття. На станціях з ручним управлінням стрілочними переводами він робить це через черговий стрілочний пост, який перевіряє прибуття поїзда в повну силу хвостовими сигналами. На станціях з ЕС такої можливості немає, тому з метою підвищення безпеки руху поїздів на ПАБ використовуються пристрої автоматичного контролю прибуття поїзда в повну силу. [10]

Найбільшого поширення набула система приладів контролю вільності перегону шляхом підрахунку осей рухомого складу (УКП СО). Робота цієї системи заснована на використанні датчиків колії (магнітних педалей), які не використовують рейкову лінію для визначення місця розташування поїзда. Система УКП СО забезпечує моніторинг статусу вільності ділянки та автоматизацію процесу контролю прибуття поїзда на станцію в повну силу.

Система УКП СО складається з двох лічильних пунктів, розташованих на кордонах контрольованого відтяжки, і контрольного пристрою. Лічильні точки з'єднані з пристроєм управління лінійною схемою. Принцип роботи системи заснований на підрахунку осей рухомого складу в кожній точці відліку і подальшому автоматичному порівнянні результатів підрахунку керуючим пристроєм. У разі однакових результатів підрахунку в кожному пункті відліку після проходження поїзда по ділянці формується сигнал про звільнення рухомим складом контрольованого відрізка. Цей сигнал передається на прилади управління чергових по станції.

### 2.1.3 Колійні пости

З метою збільшення пропускної спроможності одноколійних і двоколійних ділянок залізниць, обладнаних напівавтоматичними блокувальними пристроями, влаштовуються колійні пости, які можуть бути постійними, що працюють цілий рік, або тимчасовими, що працюють в періоди інтенсивного руху або під час «вікон». Такі пости можуть бути обслуговуватися або автоматизуватися. Колійний пост двоколійної ділянки дозволяє відправляти на перегін по два поїзди в кожному напрямку. Колійний пост одноколійної ділянки дозволяє направити два поїзди на перегін в одному з напрямків. Кожна станція, що обмежує перевезення, може дати згоду колійному посту на прийом поїзда. Для того, щоб відправити поїзд зі станції, необхідно отримати згоду від колійного поста, який він може дати тільки на одну станцію. Попутні світлофори колійного стовпа, як правило, закриті.

У деяких районах пункти пропуску потрібні лише для певного часу доби або лише у певні дні. У цих випадках періодично відкриваються і закриваються пости. Під час закриття поста зв'язківець не чергує і ділянка не розділена на блок-секції. Світлофор поста сигналізує червоним світлом. Відправлятися поїздом зі станції можна тільки тоді, коли вільними є дві блок-ділянки ділянки. При відкритті виїзного світлофора на станції і в'їзді поїзда на ділянку на світлофорі поста автоматично загоряється зелене світло. При проїзді поїзда через пост на попутному світлофорі автоматично загоряється червоне світло, але блокуючий сигнал руху поїзда від поста до станції відправлення не подається, що виключає можливість відправлення другого поїзда на перегін.

Для автоматизації роботи колійних стовпів використовуються електричні рейкові ланцюги або інші автоматичні пристрої, які дозволяють контролювати рух поїзда за попутним світлофором, автоматизувати його роботу і контролювати прибуття поїздів на станцію в повну силу.

## 2.2 Автоматичне блокування

### 2.2.1 Призначення і принцип роботи автоблокування

Автоматичне блокування (АБ) - це автоматизована система для інтервального регулювання руху поїздів на ділянках. У порівнянні з напівавтоматичним блокуванням, автоматичне блокування є більш досконалою та ефективною системою. [11]

У разі автоматичного блокування ділянка між станціями розбивається на блок-ділянки, на кордонах яких встановлюються попутні світлофори, що працюють в автоматичному режимі. Кожна блокова секція оснащена електричною рейковою схемою. Показання попутних світлофорів визначаються станом колійних ланцюгів і показаннями світлофорів, що йдуть попереду. Апаратура управління (колійні трансформатори, кодові передавачі, трекові реле, декодери і т.д.) встановлюється в релейних шафах, розташованих безпосередньо біля світлофорів (рис.2.1).

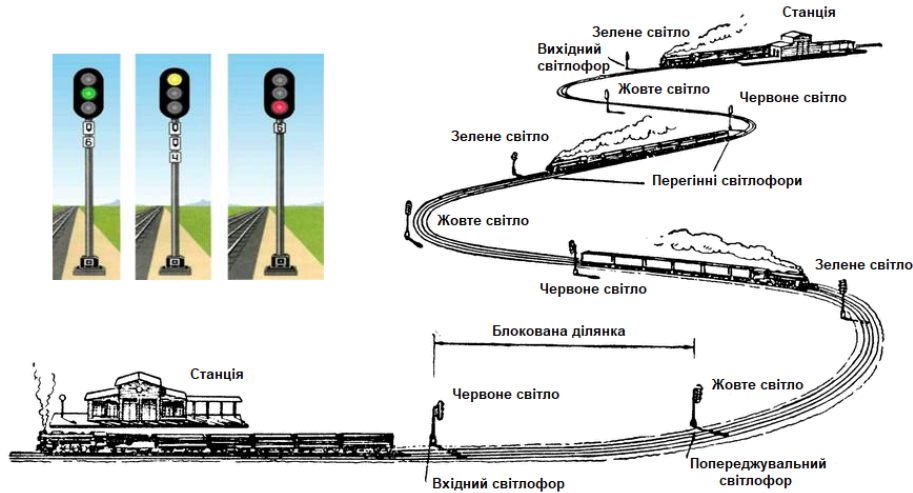


Рисунок 2.1 - Світлофори автоблокування

Збільшення пропускної здатності лінії з автоматичним блокуванням досягається реалізацією попутного руху поїздів з мінімальним інтервалом, так як вся ділянка розділена на блок-ділянки відносно невеликої довжини, огорожені попутними світлофорами, які служать окремими пунктами з автоматичним управлінням. Довжина ділянки блоку залежить від передбачуваних інтервалів проходження поїздів, їх максимальної швидкості, довжини і маси, профілю колії, гальм, величини сигналізації і т.д.

Безпека руху поїздів при автоматичному блокуванні забезпечується оснащенням кожної блок-ділянки електричним рейковим ланцюгом, який контролює не тільки вільність і заповнюваність колії в межах блок-ділянки, а й цілісність рейкової нитки. При зайнятті колії або пошкодженні рейкової струни блок-ділянки світлофор, що охороняє цю ділянку, автоматично переводиться в замкнутий стан, що захищає перешкоду, що виникла.

З метою запобігання проїзду замкнутих колійних світлофорів і підвищення безпеки руху поїздів автоматичне блокування доповнюється автоматичними локомотивними сигнальними пристроями (АЛС), які передають показання колійного світлофора, розташованого попереду, на світлофор локомотива.

## 2.2.2 Види автоблокування та вимоги до нього

На залізничній мережі використовуються різні автоматичні системи блокування.

За принципом роботи і розміщення апаратури управління розрізняють числове кодове автоблокування з дисперсним (підлоговим) розташуванням приладів управління і автоматичне блокування тонально-частотними рейковими ланцюгами і централізоване розміщення обладнання (АБТЦ). В останньому випадку використовуються рейкові схеми без ізолюючих стиків, які мають більшу надійність в експлуатації. Два сусідніх рейкових ланцюга живляться від одного джерела струму сигналу (генератора частоти сигналу), а колійні приймачі сусідніх РЦ з'єднані з однією загальною точкою кінців реле і мають властивості вибору частоти. Вся апаратура управління розташована на станціях, що обмежують ділянку, і з'єднана з рейковою лінією за допомогою сигнального кабелю. На полі (безпосередньо біля траси) розміщуються тільки узгоджувальні та захисні пристрої.

Будь-яка система АБ повинна відрізнятися високою надійністю, забезпечувати відсутність небезпечних збоїв і забезпечувати:

- зв'язок між показаннями світлофора і станом контрольованої ділянки блоку;
- взаємозв'язок між показаннями сусідніх світлофорів;
- автоматичне керування світлофорами;
- спостереження за станом ламп червоного світла і їх електричних ланцюгів, а в разі їх несправності - автоматична передача заборонних показань на світлофор, що стоїть за ним;
- зміна напрямку руху при двосторонній дії автоматичного блокування на одноколійних і двоколійних (коли одна з колій закрита на капітальний ремонт) лініях;
- виключення появи більш дозвільних показань сигналу на світлофорі при замиканні ізолюючих стиків рейкових ланцюгів.

### 2.2.3 Принцип дії числового кодового автоблокування



У релейній шафі кожної сигнальної точки встановлені (рис.2.2): імпульсне трекове реле (И), підключене до релейного кінця ланцюга контрольованої доріжки, що приймає кодові комбінації імпульсів струму сигналу, що протікають в ньому, і передає їх на комірку дешифратора (ДЯ); реле передавача (Т), підключене до живильного кінця сусіднього залізничного кола і посилає на нього кодові комбінації імпульсів, що генеруються кодовим трековим передавачем (КПТ); сигнальні реле жовтого (Ж) і зеленого (З) вогнів, що відповідають за включення сигнальних ламп зеленого, жовтого і червоного світлофорів, а також за повторне підключення реле передавача Т до кодових груп контактів (З, Ж, КЖ) кодового трекового передавача КПТ. Включення і відключення сигнальних реле Ж і З здійснюється коміркою дешифратора ДЯ, яка обробляє імпульсні трекові реле И кодові комбінації імпульсів, що надходять імпульсним трековим реле.

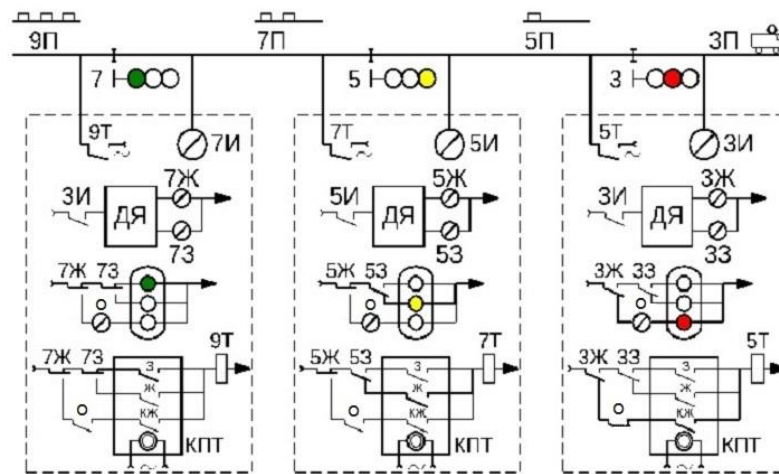


Рисунок 2.2 - Релейні шафи сигнальних точок

Якщо в ланцюгу контрольованої колії відсутні імпульси (коліїний ланцюг шунтується колісними парами або несправна), імпульсне реле колії И відключається, комірка дешифратора ДЯ реєструє відсутність коду і знімає живлення з котушок сигнальних реле Ж.

При наявності в колійному ланцюзі коду «Ж» або коду «З» імпульсне трекове реле І працює в режимі цього коду, комірка дешифратора ДЯ реєструє код сигналу і подає живлення на котушки сигнальних реле Ж і З.

Стани сигнальних реле Ж і З визначають показання сигналів світлофора і типи кодових комбінацій імпульсів, що надходять в сусідній колійний ланцюг.

Для контролю справності заборонної лампи і її електричного кола в сигнальній установці використовується пожежне реле (О), обмотка якого з'єднана послідовно з лампою червоного світла, а контакти з'єднані з ланцюгом реле передавача Т. Якщо лампа червоного світла і її електричне коло справні, то при включенні лампи червоного світла через котушку пожежного реле О протікає струм, що утримує реле включеним. Це забезпечує нормальну роботу реле передавача в режимі коду «КЖ». У разі перегорання лампи червоного світла або несправності її електричного кола струм в котушці пожежного реле О відсутній, реле відключається, в результаті чого контакти в ланцюзі перехідного реле Т розмикаються і кодові імпульси не надходять в сусідній ланцюг рейки, що призводить до включення (передачі) заборонного світла в сигнальну точку, що огорожує сусідню ділянку блоку.

#### 2.2.4 Контроль інтервалів для автоматичного блокування

На лініях з автоматичним блокуванням мінімальний інтервал проїзду поїздів визначається умовою їх руху із заданою швидкістю на зелене світло світлофора. На магістральних лініях, де курсують поїзди з однаковими швидкостями і гальмівним шляхом, інтервал проходження маршрутів визначається розмежуванням поїздів трьома блоковими ділянками.

Мінімальна відстань  $L_{min}$  (м) наближення між центрами наступних поїздів обчислюється за формулою:

$$L_{min} = 3 \times I_{\delta} + I_n ,$$

де  $I_{\delta}$  - довжина блок-ділянки, м;  $I_n$  - довжина поїзда, м.

Найкоротший інтервал  $T_{min}$  (хв.) при розмежуванні поїздів на три блокові ділянки обчислюється за формулою:

$$T_{min} = 0,06 \times (3 \times I_{\sigma} + I_n) / V_{cp} ,$$

де  $V_{cp}$  - середня швидкість руху поїзда на розрахунковій ділянці, км/год;  
0,06 - коефіцієнт перерахунку км/год у м/хв.

При розмежуванні в три блоки поїзди завжди рухаються на зелене світло світлофора, що йде попереду. Це створює сприятливі умови для машиніста при русі поїзда із заданою швидкістю. На підставі індикації колійних світлофорів машиніст також регулює швидкість руху поїзда. Жовтий сигнал дозволяє проїхати цей світлофор на зниженій швидкості і бути готовим до зупинки на наступному світлофорі.

Довжина блок-ділянки з тризначною сигналізацією повинна бути не менше гальмівного шляху, тобто не менше 1000 м, максимальна довжина блок-секції - не більше 2600 м, а ділянок підходу перед в'їзним світлофором станції - не більше 1500 м. Інтервал проходження поїздів з тризначним автоблокуванням становить 6-8 хвилин.

Чотиризначне автоматичне блокування використовується на ділянках, де курсують поїзди з різною швидкістю і гальмівним шляхом (відповідні зміни вносяться в формули розрахунку мінімальної відстані та найкоротшого інтервалу). Такими ділянками є, перш за все, ділянки з інтенсивним рухом приміських поїздів, які внаслідок частих зупинок мають менші середні швидкості, але при цьому менший гальмівний шлях порівняно з магістральними поїздами. Інтервал проходження поїздів з чотиризначним автоблокуванням становить 3-5 хвилин.

Допустимих показань треківих світлофорів автоматичного блокування недостатньо для індикації початку гальмівного шляху швидкісного поїзда, тому машиніст орієнтується на показання локомотивного світлофора багаторозрядної АЛС, який попереджає про кількість вільних ділянок блоку, розташованих попереду.

### 2.3 Автоматична локомотивна сигналізація та пристрої безпеки

Безпека руху поїздів вимагає безумовного виконання машиністами розпоряджень, які передаються сигналами колійних світлофорів. Для того щоб машиніст міг легко і точно сприймати сигнали, що подаються трековими світлофорами в будь-яких умовах (на криволінійних ділянках колії, в тумані, сильному дощі, снігопаді і т.д.), застосовуються пристрої безперервної передачі сигналів з колії на локомотивний світлофор, розташований в кабіні машиніста. Ці пристрої називаються автоматичною локомотивною сигналізацією (АЛС), і вони завжди доповнюють автоматичне блокування. [12] Як правило, пристроями АЛС на станціях обладнуються головні колії, а також бічні колії, якщо вони передбачають беззупинний прохід поїздів.

Залежно від умов передачі кодових сигналів від колії до локомотива (безперервно або тільки в певних точках колії) розрізняють суцільний тип АЛС (АЛСН) і точковий тип АЛС (АЛСТ). Пристрої АЛСН забезпечують безперервну передачу показань сигналів колійних світлофорів при русі поїзда по ділянках і станціях. Система АЛСН використовується на ділянках, оснащених одно- або двоколійним автоматичним блокуванням. В даний час АЛСТ застосовується тільки на ділянках, обладнаних напівавтоматичним блокуванням: показання на світлофор локомотива передаються тільки при русі по коліях станцій і на підходах до них.

В окремих випадках автоматична локомотивна сигналізація може використовуватися як самостійний (основний) засіб інтервального регулювання руху поїздів на ділянках - (АЛСО). Особливість такої системи полягає в тому, що рух поїздів здійснюється тільки сигналами локомотивних світлофорів, тобто сигнали локомотивного світлофора є основним засобом управління рухом. Перегін, як і у випадку з автоматичним блокуванням, розбивається на блокові ділянки, межі яких позначені спеціальними знаками. Локомотивні світлофори сигналізують машиністу про те, що ділянки попереду вільні або зайняті.

Системи АЛСН і АЛСО використовуються на магістральних залізницях, де швидкість руху пасажирських поїздів не перевищує 160 км/год. На лініях з більшою швидкістю до 250 км/год необхідно розширювати інформативність локомотивної сигналізації, оскільки збільшується гальмівний шлях і необхідно передавати інформацію про наближення поїздів не на дві-три, а на чотири і більше блок-ділянок.

Для цього розроблена система АЛС з безперервним каналом зв'язку (АЛС-ЕН), яку ще називають багаторозрядною АЛС. У цій системі для передачі інформації від колії до локомотива використовується безперервний частотний канал зв'язку через постійний струм (рейка, по суті, виконує функцію передавальної антени).

З метою підвищення безпеки руху автоматична система сигналізації локомотива доповнюється автостопом приладами для перевірки пильності машиніста і пристроями контролю швидкості руху поїзда.

Для контролю за діями машиністів локомотива застосовують спідометри (СК) з записуючими пристроями, які фіксують на стрічці швидкості дійсну швидкість руху поїзда, горіння червоних, жовтих, червоних і жовтих вогнів на світлофорі локомотива, натискання рукоятки пильності, роботу автостопа, тиск в гальмівній магістралі, пройденої відстань і час.

З метою підвищення безпеки руху поїздів, запобігання проходженню заборонних сигналів і збільшення пропускнуої здатності ділянок залізничних ліній пристрої АЛС доповнюються системою автоматичного управління гальмуванням САУТ, що дозволяє точно визначати відстань до світлофорів з заборонною індикацією і зупинити поїзд перед ними без участі машиніста.

В даний час набувають поширення автоматизовані системи наведення поїздів (САВП), на які можна доручити більшість операцій, пов'язаних з рухом поїздів: контроль тяги і гальмування, дотримання швидкісного режиму, наближення до заборонних сигналів, зупинки на пасажирських платформах і т.д. Вони являють собою автономні, багатокomпонентні системи на базі

мікропроцесорів. До таких систем відноситься модуль, що забезпечує взаємодію з локомотивними пристроями АЛС.

## 2.4 Математичне моделювання режимів роботи станції

Залізничні вузли, в тому числі колії незагального користування, працюють в умовах високої невизначеності. Це пов'язано з необхідністю обслуговування багатьох вантажних фронтів, споживачів транспортних послуг, вантажовласників зі стохастичним попитом на перевезення. На залізничних вузлах проводяться складні маневрові роботи для подачі вагонів на вантажні fronti. [13] Такі операції здійснюються методом відстоювання із застосуванням витяжних колій, які передбачають різноманітні варіанти, що, в свою чергу, робить завдання оптимального планування функціонування залізничного вузла NP-складним. Для таких завдань добре себе зарекомендували методи імітаційного моделювання.

Імітаційні моделі на залізничному транспорті використовуються для вирішення завдань стратегічного і тактичного планування, виявлення вузьких місць і обґрунтування рішень щодо розвитку або реконструкції транспортної інфраструктури. Для побудови таких моделей використовуються спеціалізовані та універсальні засоби моделювання.

Системи OpenTrack, FRISO, YardSim, DEVS орієнтовані на моделювання роботи магістральних залізничних станцій на мікрорівні. Такі системи забезпечують вирішення конфліктних ситуацій при одночасному зайнятті колій і стрілочних переводів при русі поїзда в одному напрямку, тобто без зміни напрямку руху. Досить проста логіка сортувальної роботи на таких станціях моделюється за допомогою технологічних діаграм (дискретно-подієвий підхід) або за допомогою математичних методів, зокрема, нейронних мереж.

У більшості випадків залізничні вузли моделюються на макрорівні. Для таких цілей використовуються як універсальні інструменти моделювання,

наприклад, AnyLogic, SIMUL'8, Arena, Plant Simulation, FlexSim, так і спеціалізовані інструменти.

У всіх розглянутих системах кожна залізнична станція або колійний парк моделюється окремим набором об'єктів в моделі моделювання дискретних подій. Однак останнім часом набирає популярності агентно-орієнтований підхід до побудови імітаційних моделей, в тому числі моделей залізничного транспорту, на мікрорівні.

Деякі інструменти, такі як AnyLogic, містять готові до використання бібліотеки для агентного моделювання залізничного транспорту. AnyLogic підтримує всі відомі підходи до моделювання, включаючи агентно-орієнтований, дискретно-подієвий і системно-динамічний. Крім того, AnyLogic є універсальним і доступним програмним інструментом з розширеною підтримкою, що сприяє більш широкому впровадженню моделей, побудованих з його використанням, в порівнянні зі спеціалізованими інструментами.

Традиційним підходом до побудови імітаційних моделей залізничних станцій є детальний опис технології роботи станції, як правило, у вигляді графіка – послідовності операцій транспортного процесу. Головною відмінністю нових моделей є автоматична побудова послідовності маневрових напіврейсів як частини технологічної карти.

Проблема використання універсальних засобів моделювання для опису складних систем на мікрорівні полягає в тому, що вони недостатньо враховують специфіку їх функціонування. Незважаючи на наявність спеціалізованої залізничної бібліотеки в AnyLogic, вона все одно не вирішує проблему вирішення конфліктів, коли поїзди займають однакові колії та стрілочні переводи. Така схема застосовується, наприклад, в Arena і AnyLogic. Недоліком такого підходу є складність створення декількох блок-схем для кожного маршруту поїзда і складність подальшої оптимізації цих маршрутів.

Новий підхід, запропонований AnyLogic, використовує марківський процес прийняття рішень. Стрілочний перевід, до якого наближаються два потяги, автоматично перемикається, щоб пропустити пріоритетний. Однак такий

підхід, який передбачає динамічну побудову маршруту, суперечить вимогам безпеки перевезень. Крім того, блок-схема в імітаційній моделі повинна містити додаткові блоки для порівняння швидкостей поїздів.

Обидва ці підходи не в змозі оптимізувати низькорівневі операції для вибору оптимальних маршрутів, що складаються з декількох напіврейсів. Схема стрілочного переводу, яка представлена у вигляді неорієнтованого графу, наведена на рис.2.3.

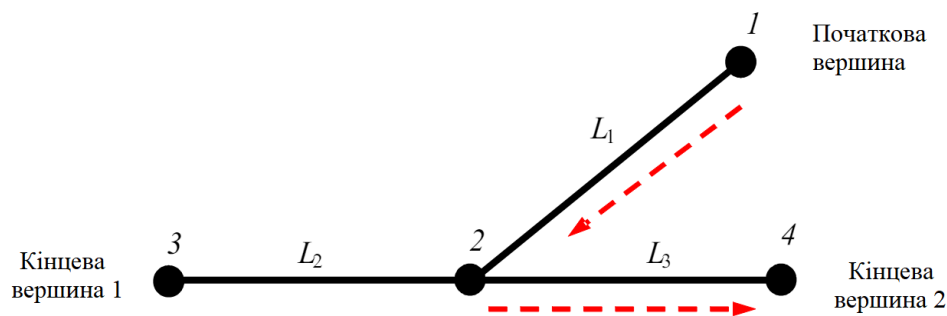


Рисунок 2.3 - Традиційний спосіб опису стрілки як частини неорієнтованого графу

Знаходження оптимального маршруту від вершини 1 до вершини 4 за допомогою традиційного підходу призведе до помилкового моделювання руху поїзда в моделі. Такий опис схеми розвитку колії не дозволяє планувати та оптимізувати складні маршрути руху поїздів на залізничній станції та маневрові операції зі зміною напрямку руху поїздів.

Новий підхід ґрунтується на використанні так званого віртуального графа, особливість якого полягає в тому, що кожній вершині графа (явки) присвоюється дві вершини – реальна та віртуальна, наприклад, дійсна вершина 2 та віртуальна вершина 5 (рис. 2.4).



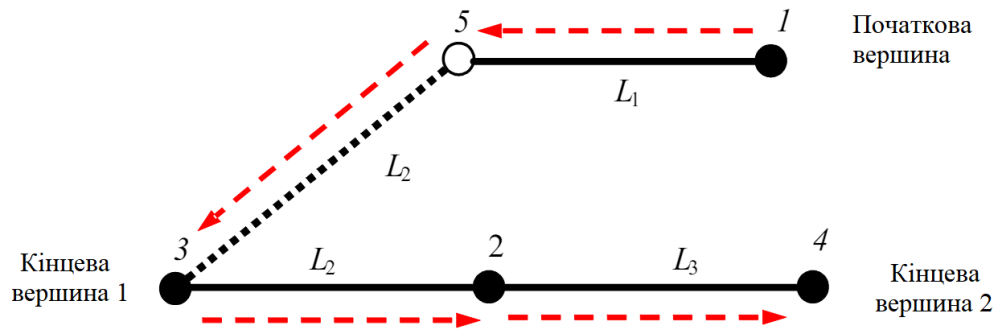


Рисунок 2.4 - Спосіб опису стрілки як частини віртуального графа

Такий графік дає можливість визначити оптимальні маршрути руху поїздів на залізничній станції зі складною схемою розвитку колії, коли необхідно змінити напрямок руху поїзда, щоб дістатися до заданої кінцевої точки маршруту.

Технологія експлуатації залізничної станції або вузла в моделі може здійснюватися у вигляді черги завдань. У цьому випадку диспетчерське управління зводиться до вибору оптимальної послідовності цих завдань. Завдання зручно описувати універсальним набором таких даних: місце (дуга транспортної мережі), час (бажаний час виконання завдання), якість (вагони певного типу або з заданим типом вантажу), кількість (кількість вагонів). Завдання призначаються динамічним об'єктам в імітаційній моделі, таким як вагони або групи вагонів, маневрові поїзди, локомотиви і поїзди. Параметри завдання однакові для всіх вагонів, що входять до складу блок-поїзда, але різні для збірних поїздів.

Набори даних, що описують завдання, передаються між агентами моделі (менеджерами різних рівнів) у вигляді повідомлень. У цифровому двійнику залізничного вузла, в якому обслуговуються кілька промислових підприємств, вантажоодержувачів та вантажовідправників, необхідно передбачити такі рівні управління: виробничий диспетчер або вантажовласник, вантажний диспетчер, диспетчер поїзда, черговий по станції або маневровий диспетчер. Більш докладно про це поговоримо в третьому розділі роботи.

## РОЗДІЛ 3

### ОБҐРУНТУВАННЯ ТА ВИБІР ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ

#### 3.1 Моніторинг технологічного процесу станції в режимі реального часу

Стабільна та безперебійна робота залізниць є однією з умов сталого економічного розвитку. При цьому особливу увагу слід приділити станціям, так як основна частина робіт проводиться саме на них. Технологічні збої можуть призвести до втрат 10–15% продуктивності, що призводить до зменшення обсягів робіт, до затримок і, в кінцевому підсумку, до економічних втрат.

Сьогодні метод імітаційного моделювання віртуального технологічного процесу набув найбільшого поширення в мережах вітчизняних і зарубіжних залізниць для оцінки впливу відмов на роботу станції, аналізу можливих сценаріїв розвитку подій і розробки пропозицій щодо прийнятих рішень. Суть підходу полягає в оцінці взаємного впливу елементів технологічного процесу на основі декількох проходів, кожен з яких базується на випадкових величинах.

Такі системи вимагають в якості вихідних даних характеристики рухомого складу, інфраструктури, розкладу руху поїздів. Основні функції програм практично ідентичні між собою і складаються з:

- в розрахунку характеристик станцій, ділянок, вузлів і ділянок;
- моделюванні технологічного процесу при відсутності порушень (відхилення від графіка, несправність приладів і т.д.);
- моделюванні технологічних збоїв та аналізі їх наслідків;
- представленні отриманих результатів у графічному вигляді.

Варто відзначити здатність ряду розробок враховувати специфіку обладнання, що використовується на змодельованій території. Наприклад, система OpenTrack [14] будує модель з урахуванням типу системи управління рухом поїздів (Automatic Train Protection (АТР), Automatic Train Operation (АТО), European Train Control System (ЕТС) і т.д.). Результати можуть відображатися в різних формах, основними з них, як правило, є:

- розклад руху поїздів для змодельованої інфраструктури;
- розклад руху обраного поїзда;
- побудова графіку роботи станції;
- діаграма мінімального міжпоїздного інтервалу (рис. 3.1);
- статистика завантаженості елементів інфраструктури станцій (завантаженість ділянок, колій, кількість стрілочних переводів тощо);
- статистика затримок у виконанні операцій тощо.

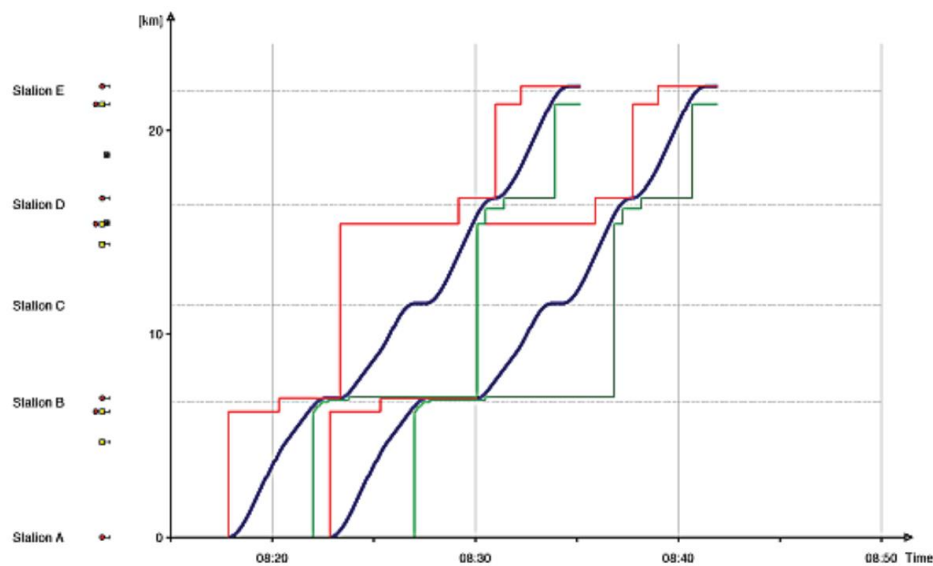


Рисунок 3.1 - Діаграма міжпоїздного інтервалу в системі OpenTrack

Треба розуміти, що в реальності технологічний процес станції може протікати інакше, ніж при його моделюванні. Причиною такої різниці може бути неповнота врахування факторів навколишнього середовища, відсутність стандартизованого алгоритму опису технологічного процесу установки і побудови імітаційної моделі, відсутність методів і алгоритмів перевірки адекватності результатів моделювання перед їх реалізацією.

Додатковим підходом є спостереження за процесом та його аналіз у режимі реального часу. Процес управління реалізує кілька функцій. Оператору необхідно зібрати інформацію від учасників технологічного процесу, проаналізувати, порівняти з планом робіт, продумати можливі рішення, оцінити їх наслідки, вибрати одне і видати рішення (рис. 3.2).

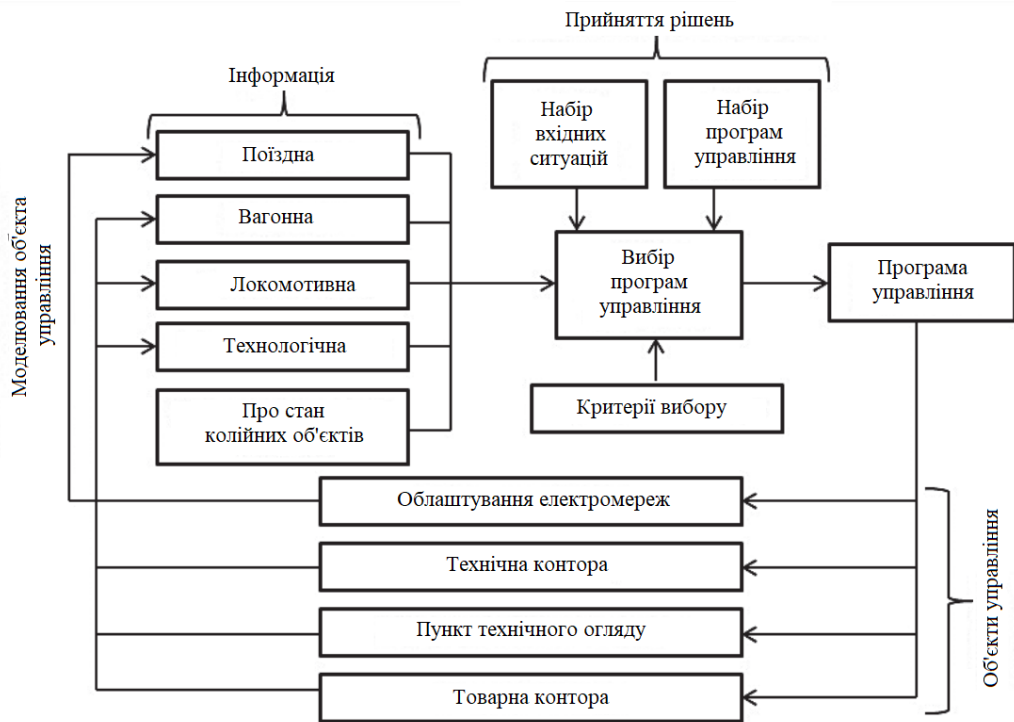


Рисунок 3.2 - Схема інформаційних моделей системи управління станцією

У ході отримання інформації про невдачу особа, яка приймає рішення (ОПР), повинна звертатися до різноманітних джерел інформації (рис. 3.3). Згідно з дослідженнями, тільки збір інформації про виконання розкладу руху поїздів займає 80-90% робочого часу управлінського персоналу.

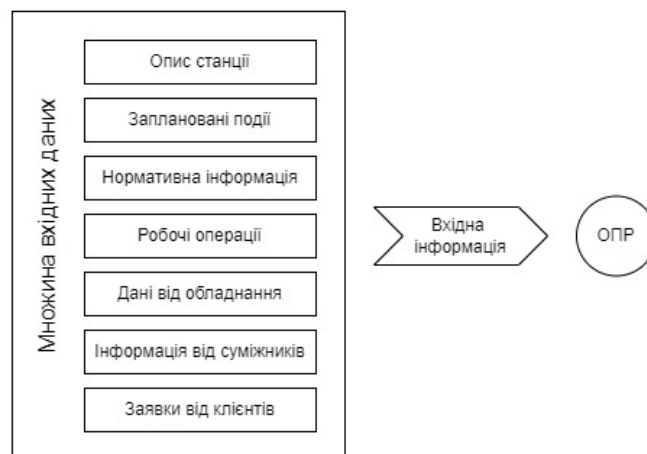


Рисунок 3.3 - Множина вхідних даних для ОПР

Характер залежності економічних втрат від тривалості разової тимчасової затримки близький до лінійного, але одна затримка може призвести до інших, що збільшить втрату продуктивності. Це пов'язано з поданням станції як системи  $i$ , як наслідок, з такою взаємодією різних елементів, при якій властивості одного взагалі залежать від умов, що визначаються поведінкою іншого. Відповідно, з метою мінімізації витрат кількість часу, витраченого на кожен ланку в процесі прийняття рішень процесу прийняття рішень особи, яка приймає рішення в разі збою ( $t_{\text{рiш}}$ ), повинна прагнути до величини, закладеної в графіку безперебійної роботи ( $t_{\text{план}}$ ):

$$t_{\text{рiш}} = \sum_{i=1}^n t_i \rightarrow t_{\text{план}},$$

де  $t_i$  – витрачений час на  $i$ -у ланку в процесі прийняття рішень.

Звичайно, в реальності це не завжди призводить до кращих рішень, навіть якщо імітаційна модель станції була досить точною. При контролі та аналізі технологічного процесу в режимі реального часу засобами обчислювальної техніки вхідні дані постійно оновлюються програмно-апаратним комплексом автоматично (рис. 3.4).



Рисунок 3.4 - Обробка даних програмно-апаратним комплексом і передача оператору

На їх основі будується графік стану технологічного процесу, розраховується план подальших робіт, оновлюється стан моделі автомобіля. При

виникненні технологічних збоїв програмно-апаратний комплекс здатний запропонувати можливі рішення, виступаючи в ролі «радника».

Взагалі реалізація інформаційної моделі станції починається з побудови її плану. Покажемо на прикладі, як це відбувається.

### 3.2 Побудова плану станції

При проектуванні електричного блокування залізничної станції першим етапом проектування є розробка схематичного плану станції. На цьому плані вказується нумерація колій, стрілочних переводів, напрямок руху по приймальних і вихідних коліях, ізольовані ділянки (колійні ланцюги), розташування в'їзних, виїзних та маневрових світлофорів тощо.

Початковим документом для проектування є розробка колії станції (рис. 3.5). На ньому нумеруються колії прийому і відправлення на станції. Стрілочні переводи на станції нумеруються від перегону. Колії станції розділяються на ізольовані ділянки.

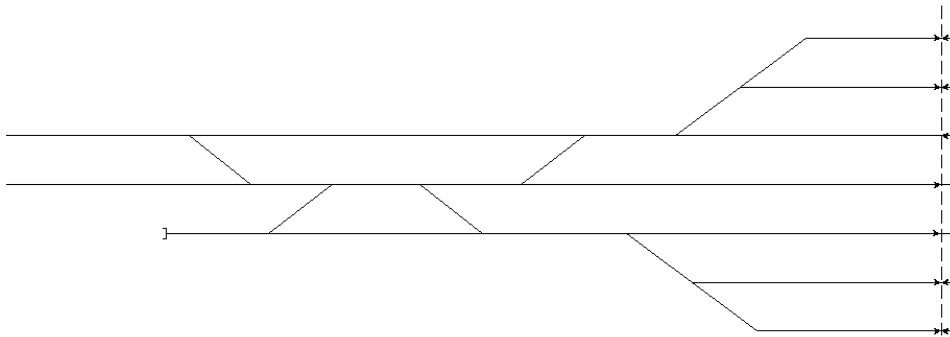


Рисунок 3.5 - Початковий план колії горловини станції

Кожна така ділянка обладнана колійним колом для забезпечення контролю руху поїздів і забезпечення безпеки руху на станції. Поділ забезпечується влаштуванням ізоляційних стиків (рис.3.6).

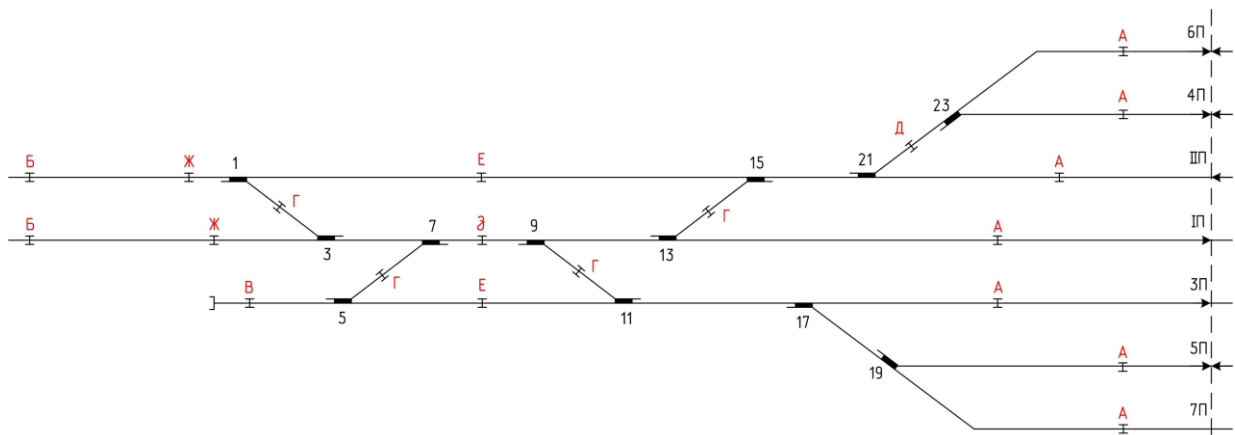


Рисунок 3.6 - Поділ станції ізоляційними стиками

Якщо необхідно, ставляться додаткові стрілки. Крім того, на станції повинні бути передбачені в'їзні і виїзні світлофори для поїздів і маневрові сигнали для маневрової роботи. Всі світлофори встановлюються на ординаті ізолюючих з'єднань з правого боку по ходу руху поїзда. При необхідності аналізується маневрова робота на станції і вносяться поправки (рис. 3.7). При цьому треба передбачити можливість одночасних переміщень.

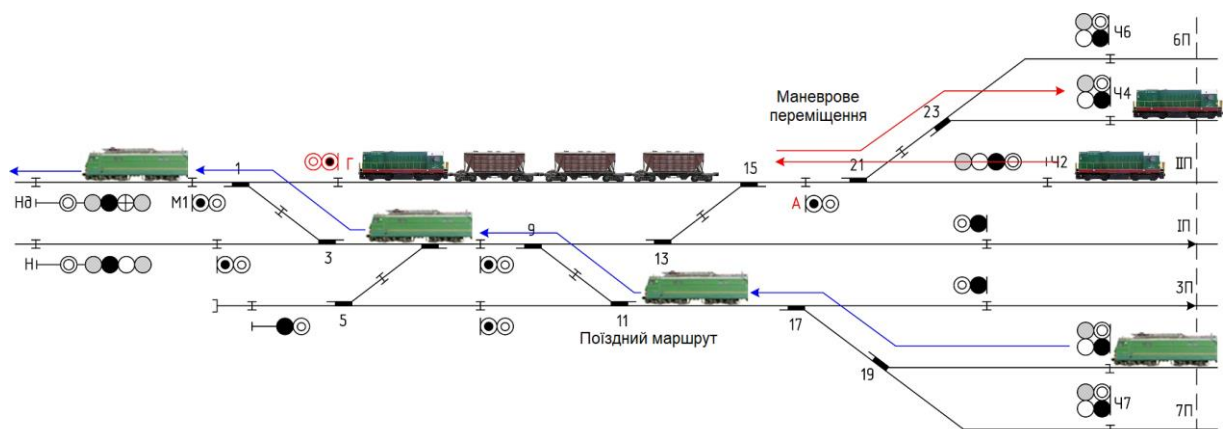


Рисунок 3.7 - Приклад аналізу одночасних маневрувань

Після ретельного аналізу отримують остаточне креслення плану станції (рис. 3.8), на основі якого і будують граф для моделювання автоматизації її роботи.

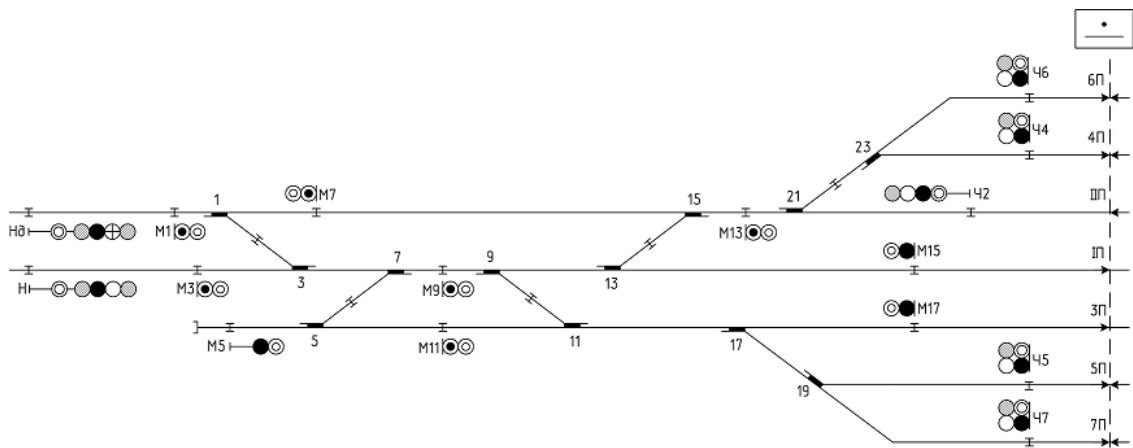


Рисунок 3.8 - Остаточне креслення плану станції

### 3.3 Організація інформаційної структури станції

Як було вказано в п.2.4, задачі для станції надходять у вигляді завдань для диспетчерів різних рівнів. Наприклад, основна функція виробничого диспетчера полягає у формуванні завдань для залізничних диспетчерів у вигляді запитів на подачу вагонів певними вантажами.

Параметри замовлень виробничого диспетчера визначаються динамікою витрати вантажу на основі даних, наприклад, систем управління запасами або даних виробничих інформаційних систем. Вантажний диспетчер складає оперативний план розподілу вагонів у хабі, тобто визначає параметри завдання для кожного вагона в цифровому двійнику. Функції поїзного диспетчера полягають у складанні розкладу руху поїздів і формуванні їх поїздів на основі плану розподілу вагонів. Розподіл і просування вагонних і залізничних потоків відбувається за допомогою розширеної транспортної мережі залізничного вузла, в якій верхи відповідають вантажним фронтам, вантажоодержувачам, вантажовідправникам і цілим залізничним станціям, а дуги - переїздам між станціями. Поїзний диспетчер створює завдання для груп вагонів, локомотивів і поїздів. Маневровий диспетчер формує завдання на обробку поїздів в межах окремої станції залізничного вузла.



Визначення складу черги завдань і зміна порядку їх виконання лежить в основі моделі диспетчерського управління в складі цифрового двійника. Модель передбачає три способи створення та модифікації черги завдань.

Перший спосіб передбачає автоматичне формування черги завдань на основі графіка руху і плану формування поїздів, технологічних карт, а також планових обсягів завантаження/розвантаження (використовується в асинхронних моделях моделювання залізничного транспорту).

Другий спосіб дозволяє вручну регулювати зміст і послідовність завдань на кожному рівні управління в залежності від реальної ситуації. Для реалізації цього методу інтерфейс цифрового двійника повинен передбачати можливість зміни черг завдань у разі відхилення розрахункових і фактичних параметрів процесу транспортування від середніх або нормативних значень. Фактичні дані диспетчери можуть отримувати як за допомогою традиційних засобів зв'язку, так і від інтелектуальної транспортної системи.

Третій метод дозволяє налагодити технологічний процес обробки вагонних потоків на основі використання алгоритмів оптимізації, наприклад, методів розподілу порожніх вагонів, управління маневровими операціями на вузлових станціях та ін. Реалізація третього методу передбачає інтеграцію цифрового двійника залізничного вузла та існуючої інтелектуальної транспортної системи для отримання оперативних даних.

Приклад автоматизованого робочого місця чергового по станції наведено на рис. 3.9.



Рисунок 3.9 - АРМ чергового по станції

Інтелектуальна транспортна система, на відміну від інформаційних систем, забезпечує підтримку прийняття управлінських рішень. [15] Цифрові двійники здатні формувати оптимальні управлінські рішення на всіх рівнях управління залізничним вузлом. Такий підхід до інтеграції цифрового двійника залізничного вузла з інтелектуальною транспортною системою ґрунтується на виділенні трьох функціональних блоків: синхронізації даних, навчання та блоку підтримки прийняття управлінських рішень.

Блок синхронізації забезпечує обмін оперативними даними про місцезнаходження вагонів, локомотивів і поїздів для ІС. Використання імітаційної моделі дозволяє прогнозувати положення рухомого складу після завершення технологічних операцій, що може бути корисно для зниження витрат на розгортання систем оперативного управління рухом поїздів і локомотивів, наприклад, технології RFID.

Порівняння прогнозів з даними ІТС, з одного боку, дозволяє виявити можливі помилки в реєстрації даних, з іншого - використовується для підвищення точності імітаційного моделювання в навчальному блоці.

Третім блоком інтеграційної моделі є підтримка управлінських рішень, які є результатами коригування завдань на основі зміни складу та/або послідовності операцій транспортного процесу. Управлінські рішення можуть формуватися людиною або алгоритмами оптимізації з подальшим підтвердженням диспетчером. Однак універсальним рішенням є реалізація можливості порівняння прогонів імітаційних моделей для різних управлінських рішень у складі цього модуля.

Інтерфейс цифрового двійника залізничного вузла повинен забезпечувати оперативний контроль, налагодження і планування процесу перевезення на всіх рівнях управління залізничним вузлом. Для реалізації оперативного управління пропонується включити в структуру інтерфейсу цифрового двійника контроль, коригування та оперативне планування. Блок управління може візуалізувати процес транспортування як у вигляді різних графіків і індикаторів (рис. 3.10), так

і у вигляді динамічного представлення роботи окремої станції або всього залізничного вузла.

Блок коректування транспортного процесу візуалізує чергу операцій і дозволяє змінювати склад, параметри і послідовність цих операцій. Результат коригування може бути негайно реалізований шляхом видачі відповідних команд на нижчі рівні управління, наприклад, на рівень локомотива і складаються бригад. Крім того, він дозволяє диспетчерам в інтерактивному режимі блокувати наявність або працездатність окремих апаратних засобів і пристроїв в моделі в разі аварії або відключення.

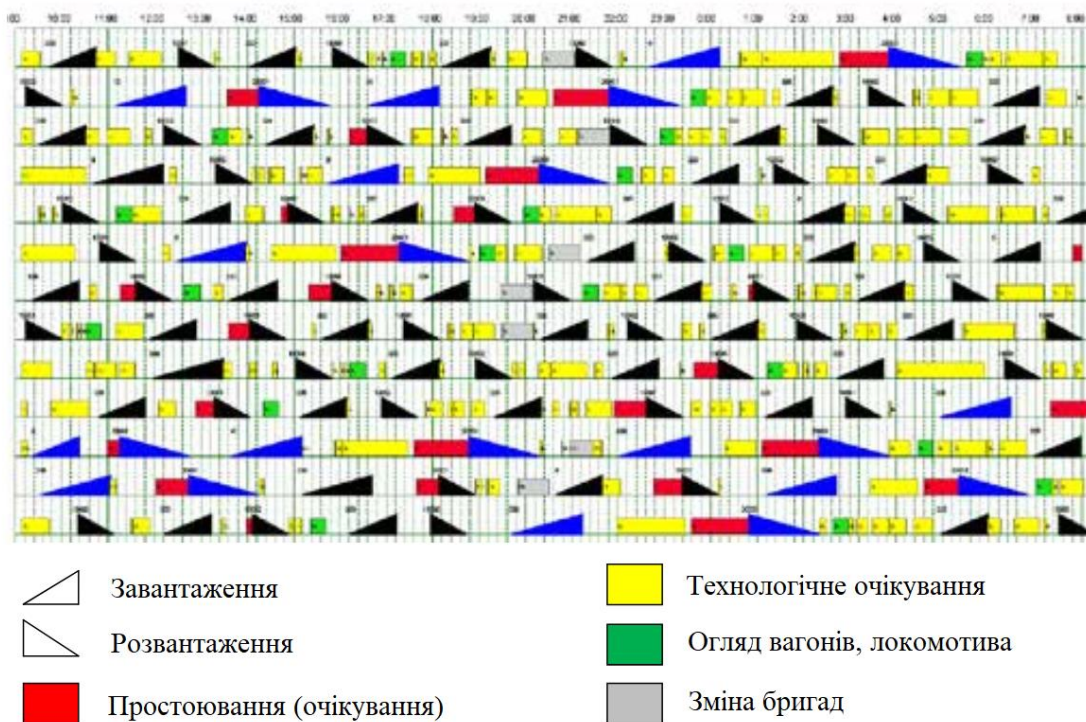


Рисунок 3.10 - Фрагмент графіка роботи залізничного вузла

Блок оперативного планування ґрунтується на порівнянні прогонів імітаційної моделі. Параметрами кожного прогону є склад черги операцій процесу транспортування і параметри цих операцій. Параметри прогонів задаються за тим же алгоритмом, за яким побудований блок корекції процесу перевезення, але вони не передаються в реальну систему управління перевезеннями, а використовуються в якості вихідних даних для пробігів. Блок

надає можливість вибору одного або декількох показників для порівняння під час імітаційного запуску. Обраний варіант черги операцій передається в блок коригування транспортного процесу для подальшої реалізації.

Аналіз спеціалізованих і універсальних засобів імітаційного моделювання залізничного транспорту дозволяє говорити про переваги універсальних інструментів. Це пов'язано як з якісною підтримкою цих інструментів виробником, так і з впровадженням в них різних інструментів підтримки прийняття управлінських рішень, включаючи, наприклад, засоби оптимізації та штучного інтелекту. Вибір універсального інструменту імітаційного моделювання дає можливість використання многопідходного моделювання в рамках однієї імітаційної моделі. Це дозволяє моделювати багаторівневі моделі управління: від рівня розвитку колії до рівня управління розкладом руху поїздів і розподілу вагонів в залізничному вузлі.

Для імітаційного моделювання не треба розробляти окрему систему, а доцільно використовувати вже готові рішення - наприклад, систему AnyLogic Cloud з хмарними рішеннями і готовими бібліотеками для моделювання процесів на залізниці. Розглянемо цей веб-додаток більш докладно.

### 3.4 Огляд системи AnyLogic Cloud

AnyLogic Cloud – це веб-додаток, який дозволяє завантажувати моделі в хмару і запускати їх на будь-якому пристрої з браузером і доступом в інтернет. Для того, щоб дані в хмарі завжди були доступні онлайн, використовуються хмарні сервери Amazon Web Services. Це також дозволяє використовувати паралельні обчислення для складних експериментів з багатосерійними моделями. Експерименти виконуються одночасно на декількох процесорах і є швидшими та ефективнішими, ніж на звичайному комп'ютері. Анімація моделі (рис. 3.11) також розраховується в хмарі, тому швидкість її виконання, якість і зовнішній вигляд мінімально залежать від потужності вашого пристрою. [16]

Через інтерфейс AnyLogic можна завантажити свою імітаційну модель у хмару. Після цього сервіс стане для вас веб-середовищем для зберігання моделі, проведення експериментів, порівняння результатів та налаштування їх візуалізації за допомогою інтерактивних графіків. Результати експериментів разом з графіками можна завантажити у вигляді файлу Excel. AnyLogicCloud буде корисний, якщо над моделлю працює кілька людей. Оскільки всі версії моделі та результати кожного запуску зберігаються в хмарі, всі члени команди можуть відстежувати дії один одного та порівнювати версії однієї моделі між собою. Хмарний сервіс дозволяє запуснути імітаційну модель, навіть якщо AnyLogic не встановлено на комп'ютері і клієнт не має облікового запису AnyLogicCloud. Відкривши модель у браузері за посиланням, можна побачити результати прогонів моделі, налаштувати та запуснути свій експеримент.



Рисунок 3.11 - Анімація імітаційної моделі в AnyLogic Cloud

AnyLogicCloud дозволяє перетворити імітаційну модель на платформу для підтримки прийняття оперативних рішень. Щоб використовувати імітаційні моделі в операціях, потрібно зберігати моделі в хмарі, інтегрувати їх з операційними даними, проводити експерименти та ділитися результатами з кінцевими користувачами, котрі миттєво можуть використовувати ці результати в своїй діяльності. Модель в AnyLogic Cloud простіше інтегрувати в робочі процеси і використовувати для створення цифрових двійників.

Система AnyLogic Cloud має багато різноманітних бібліотек, а для нашої роботи цікава тим, що містить бібліотеку для об'єктів та процесів залізниці.

Залізнична бібліотека дозволяє ефективно моделювати та візуалізувати функціонування залізничних вузлів та систем залізничного транспорту будь-якого рівня складності та масштабу. Сортувальні майданчики, вантажно-розвантажувальні колії великих підприємств, залізничні вокзали і станції, метрополітен, контейнерні термінали, трамвайний рух і навіть залізничні перевезення у шахтах – всі ці завдання можна легко і точно змоделювати.

Залізнична бібліотека інтегрована з іншими бібліотеками AnyLogic — бібліотекою моделювання процесів та бібліотекою пішоходів, що дозволяє пов'язувати моделі залізниць з моделями, які більш детально розглядають рух вантажівок, кранів, суден, пасажиропотоків, виробничих процесів тощо.

Залізнична бібліотека підтримує детальне моделювання високої точності (індивідуальні розміри вагонів, точна топологія колій і стрілочних переводів, прискорення і уповільнення поїздів), має високу динаміку у виконанні, що може бути важливим при оптимізації в пошуках оптимальної стратегії.

Двома основними вхідними даними для залізничної моделі є топологія залізничної мережі та операційна логіка залізничного вузла.

Топологія залізничного вузла (це може бути сортувальний майданчик, вантажно-розвантажувальні колії тощо) складається зі спеціальних елементів просторової розмітки, розроблених для моделей залізниць: колій, стрілочних переводів та елементів, що задають зміщення на колії (пункт залізничної колії). Ви можете як намалювати ці фігури вручну в графічному редакторі, так і створити їх програмно, наприклад, зчитуючи дані з бази даних.

Залізнична бібліотека підтримує простий, високорівневий інтерфейс для операцій залізничного вузла. Бібліотека містить сім об'єктів: TrainSource, TrainDispose, TrainMoveTo, TrainCouple, TrainDecouple, TrainEnter, TrainExit.

За допомогою цих об'єктів можна виконувати будь-які операції з поїздами і вагонами без необхідності написання програмного коду. Крім того, діаграми процесів залізничних вузлів можуть включати такі об'єкти бібліотеки

моделювання процесів, як Delay, SelectOutput, Hold, Seize, Release, Queue тощо. Це означає, що операційна логіка залізничних вузлів тепер може бути повністю визначена графічно за допомогою перетягування (в стилі drag-and-drop).

Потяги створюються об'єктом TrainSource, який дозволяє задати будь-які параметри поїзда та його вагонів. Об'єкт TrainMoveTo керує рухом поїздів. Цей об'єкт підтримує автоматичний розрахунок маршрутів і зміну станів стрілок при проходженні поїзда по маршруту. Ви також можете встановити прискорення на крейсерську швидкість і уповільнення поїзда до прибуття в пункт призначення, що забезпечує більш точні результати моделювання і робить візуалізацію процесу більш реалістичною. Зчеплення і розчеплення, що виконуються об'єктами TrainPair і TrainDecouple, відповідно, також дуже прості і гнучкі одночасно.

Логіку спільного використання ресурсів залізничних вузлів, таких як колії та стрілочні переводи, тепер можна визначити за допомогою ресурсів та відповідних ресурсних об'єктів бібліотеки моделювання процесів. Наприклад, якщо частину вузла (скажімо, колію) потрібно заблокувати, щоб пропустити поїзд, то ви можете пов'язати ресурс з цією частиною вузла. Тоді поїзд, що з'явився, повинен буде заволодіти цим ресурсом для свого використання, а решта поїздів будуть чекати в черзі об'єкта Seize.

Об'єкт SelectOutput може використовуватися на схемах залізничних процесів для вибору між різними гілками процесу, а об'єкт Delay може природним чином моделювати тривалість зупинок або тривалість операцій, таких як зчеплення/розчеплення або завантаження/розвантаження.

Автоматично бібліотекою створюються анімації колій, стрілочних переводів, вагонів та інших шляхів (рис. 3.12).

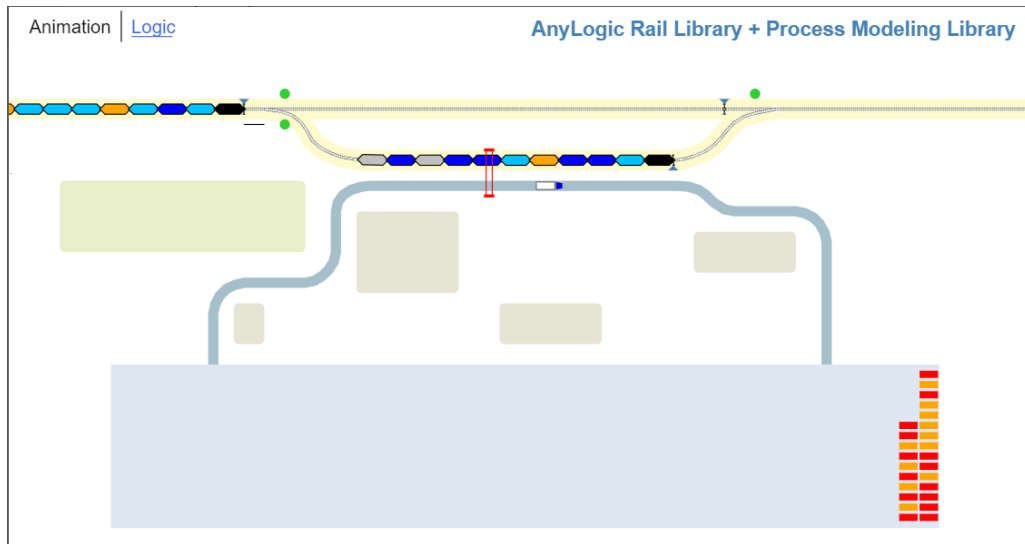


Рисунок 3.12 - Вигляд екрану анімації роботи імітаційної моделі

Залізнична бібліотека також підтримує створення 3D-анімації. Траси та автомобілі тепер можуть бути частиною тривимірної модельної сцени. Стандартна палітра зображень об'єктів містить готові до використання 3D-об'єкти для локомотива, пасажирського вагона та різних типів вантажних вагонів. Оскільки і Бібліотека моделювання процесів, і Бібліотека пішоходів також підтримують створення 3D-анімації, тепер можна легко створювати динамічні 3D-моделі станцій та інших систем, де залізничні перевезення присутні нарівні з рухом пасажиропотоків.

В AnyLogic можна створювати динамічні моделі для навчання та тестування рішень на основі штучного інтелекту. Для цього потрібно завантажити модель в AnyLogic Cloud і підключити її до платформи машинного навчання за допомогою RESTful API на Python, Java або JS. Моделі в AnyLogic Cloud використовують потужні хмарні обчислення, що дозволяє нейронним мережам навчатися швидше та ефективніше. Система забезпечує інтеграцію моделей в системи обробки даних, вбудовування в автоматизовані системи обробки даних за допомогою Cloud API для підтримки прийняття рішень.



## РОЗДІЛ 4

### ОХОРОНА ПРАЦІ ТА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

Робота з автоматизованими системами на залізниці пов'язана з різноманітними небезпечними і шкідливими факторами, які можуть впливати на безпеку працівників і безперебійну роботу залізничної інфраструктури. Розуміння та ідентифікація цих факторів є критично важливими для розробки ефективних заходів безпеки та мінімізації ризиків.

Автоматизовані системи на залізниці включають в себе численні електричні компоненти, такі як сигнальні системи, автоматичні стрілочні приводи і системи управління рухом поїздів. Робота з цими компонентами може бути небезпечною через ризик ураження електричним струмом. Недотримання правил безпеки при роботі з електричними системами може призвести до серйозних травм або навіть летальних випадків. Тому важливо забезпечити належну ізоляцію обладнання, використання захисних засобів і проведення регулярних технічних оглядів.

Механічні компоненти автоматизованих систем, такі як приводи стрілок, можуть становити ризик для працівників, особливо під час технічного обслуговування або ремонту. Неправильне використання інструментів або недотримання інструкцій з безпеки може призвести до травм, таких як порізи, переломи або удари. Для запобігання цим небезпекам необхідно використовувати спеціалізовані інструменти, дотримуватися інструкцій виробника і застосовувати засоби індивідуального захисту.

Деякі автоматизовані системи можуть випромінювати електромагнітні поля або радіацію, які можуть бути шкідливими для здоров'я працівників. Постійний або надмірний вплив таких випромінювань може призвести до різних захворювань, включаючи рак або порушення функцій нервової системи. Щоб знизити ризик, важливо обмежувати час перебування працівників в зонах з високим рівнем випромінювання і використовувати захисні засоби.

Автоматизовані системи вимагають високого рівня уваги і концентрації від операторів і технічного персоналу. Постійний стрес, високі вимоги до точності та швидкості прийняття рішень можуть призвести до психологічного та фізичного виснаження. Це може підвищувати ризик помилок і аварійних ситуацій. Для зниження цього ризику важливо організувати робочі процеси таким чином, щоб забезпечити регулярні перерви, підтримку здорового робочого середовища і доступ до психологічної підтримки.

Робота з автоматизованими системами часто включає тривале перебування в одній позі, роботу за комп'ютерами або з дисплеями, що може викликати проблеми з опорно-руховим апаратом, зоровим навантаженням і загальним дискомфортом. Для мінімізації цих ризиків важливо забезпечити ергономічно правильно організовані робочі місця, регулярно проводити перерви для розминки і використовувати обладнання, яке зменшує фізичне навантаження.

Технічне обслуговування і ремонт автоматизованих систем може включати роботу з хімічними речовинами, такими як мастила, охолоджувальні рідини або очищувачі. Контакт з цими речовинами може призвести до подразнення шкіри, дихальних шляхів або інших серйозних проблем зі здоров'ям. Використання захисних рукавичок, масок і інших засобів індивідуального захисту є необхідним для запобігання негативного впливу хімічних речовин.

Автоматизовані системи залежать від програмного забезпечення, яке керує різними процесами і забезпечує безпеку руху. Збої, помилки в програмному забезпеченні або кібернапади можуть призвести до серйозних наслідків, включаючи аварії та збої в русі поїздів. Регулярні оновлення, тестування і забезпечення захисту від кіберзагроз є критично важливими для підтримки надійності систем.

Погодні умови, такі як дощ, сніг, грози або надмірна спека, можуть впливати на роботу автоматизованих систем і створювати додаткові небезпеки для працівників. Важливо враховувати ці фактори при плануванні робіт, забезпечувати відповідні засоби захисту і підтримувати системи в належному стані для мінімізації впливу навколишнього середовища.

Непередбачувані ситуації, такі як аварії, терористичні акти або природні катастрофи, можуть значно вплинути на безпеку роботи з автоматизованими системами. Важливо мати плани дій на випадок надзвичайних ситуацій, забезпечити належне навчання персоналу і регулярно проводити тренування для відпрацювання відповідних дій.

Таким чином, робота з автоматизованими системами на залізниці включає широкий спектр небезпечних і шкідливих факторів, які потребують уважного підходу і ефективних заходів безпеки. Розуміння цих ризиків і постійне вдосконалення системи управління безпекою є ключовими елементами для забезпечення надійної та безпечної експлуатації залізничної інфраструктури.

## РОЗДІЛ 5

### ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВПРОВАДЖЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ

Розрахунок економічної ефективності впровадження системи автоматизації управління стрілками на залізничній станції включає декілька ключових етапів. Перш за все, необхідно оцінити витрати на впровадження системи, а також очікувані вигоди, які можна отримати від її використання. Вигоди можуть включати зниження операційних витрат, підвищення пропускнуої спроможності, зменшення кількості аварій і покращення загальної ефективності роботи станції.

Розглянемо етапи розрахунку ефективності:

1. Визначення початкових витрат на впровадження: вартість обладнання (стрілочні приводи, контролери, сенсори тощо); вартість програмного забезпечення та ліцензій; витрати на установку та налаштування системи; витрати на навчання персоналу; інші пов'язані витрати (проектні роботи, технічна документація тощо).

2. Оцінка щорічних операційних витрат: витрати на обслуговування та технічну підтримку; витрати на електроенергію; витрати на регулярне навчання персоналу.

3. Визначення очікуваних вигод: зниження витрат на ручне управління стрілками; зниження витрат на аварійне обслуговування; зменшення часу простоїв і підвищення пропускнуої спроможності; підвищення загальної ефективності роботи станції (скорочення часу маневрових операцій); зниження витрат на утримання персоналу.

4. Розрахунок періоду окупності включає визначення часу, протягом якого економія витрат компенсує початкові витрати.

5. Розрахунок чистої поточної вартості (Net Present Value, NPV) - врахування вартості грошей в часі для оцінки довгострокової ефективності.

6. Розрахунок внутрішньої норми рентабельності (Internal Rate of Return, IRR) - визначення рентабельності інвестицій у проект.

Припустимо, що початкові витрати на впровадження системи автоматизації управління стрілками становлять:

- вартість обладнання та програмного забезпечення: 200 000 грн;
- витрати на установку та налаштування: 50 000 грн;
- витрати на навчання персоналу: 10 000 грн;
- інші пов'язані витрати: 20 000 грн.

Отже, загальні початкові витрати становлять 280 000 грн.

Щорічні операційні витрати оцінюються як:

- обслуговування та технічна підтримка: 15 000 грн;
- додаткова електроенергія: 5 000 грн;
- регулярне навчання персоналу: 2 000 грн.

Отже, щорічні операційні витрати становлять 22 000 грн.

Очікувані вигоди включають:

- зниження витрат на ручне управління: 30 000 грн на рік;
- зниження витрат на аварійне обслуговування: 10 000 грн на рік;
- зменшення часу простоїв і підвищення пропускної спроможності, що дозволяє збільшити дохід: 50 000 грн на рік;
- підвищення ефективності роботи: 20 000 грн на рік.

Отже, загальні щорічні вигоди становлять 110 000 грн. Зробимо розрахунок періоду окупності.

Період окупності = Початкові витрати / Щорічні вигоди

$$280\,000 / 110\,000 \approx 2,55 \text{ років}$$

Виконаємо розрахунок чистої поточної вартості (NPV). Припустимо, що дисконтна ставка становить 10%:

$$NPV = \sum (\text{Вигоди} - \text{Витрати}) / (1 + r)^t, \text{ де } r - \text{дисконтна ставка, } t - \text{рік}$$

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{(110\,000 - 22\,000)}{(1+0,1)^t} - 280\,000$$

Для спрощення обчислень можна використати таблицю теперішньої вартості ануїтету на 5 років при 10%:

$$NPV = (88\,000 \times 3,791) - 280\,000 = 333\,608 - 280\,000 = 53\,608 \text{ грн.}$$

Отже, чиста поточна вартість складає приблизно 53 600 грн, що свідчить про економічну доцільність проекту.

Зробимо розрахунок внутрішньої норми рентабельності (IRR). IRR - це ставка дисконту, при якій NPV дорівнює нулю. Для обчислення IRR необхідно знайти таку ставку, при якій:

$$\sum_{t=1}^n \frac{(110\,000 - 22\,000)}{(1 + IRR)^t} = 280\,000$$

Для точного розрахунку IRR можна використовувати фінансовий калькулятор або програмне забезпечення, таке як Excel. За припущенням, IRR може складати приблизно 15-18%.

Отже, розрахунки показують, що впровадження системи автоматизації управління стрілками на залізничній станції є економічно вигідним. Це демонструє, що проект не тільки повертає інвестиції у відносно короткий період, але й приносить значні довгострокові вигоди.

## ВИСНОВКИ

В ході виконання кваліфікаційної роботи була розроблена автоматизована система управління стрілками залізничної станції та виконані такі задачі:

1. Проведено аналіз предметної області та визначені особливості технологічного транспортного процесу на залізниці.

2. Розглянуті основні засоби керування транспортним процесом, їх призначення та особливості використання.

3. Описані підходи до вирішення завдань автоматизації на різних рівнях для роботи в напівавтоматичних та автоматичних режимах для зберігання безпеки та визначених режимів роботи залізничних шляхів та станції.

4. Обрано математичний апарат для моделювання режимів роботи стрілок станції з врахуванням особливостей роботи стрілок та руху транспорту.

5. Обґрунтовані та вибрані технічні засоби автоматизації, здійснена розробка імітаційної моделі елементів залізничної станції. Запропоновані структура інформаційної системи та програмні засоби для імітаційного моделювання.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Залізничний транспорт. URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Залізничний\\_транспорт](https://uk.wikipedia.org/wiki/Залізничний_транспорт).
2. Системи технологій залізничного транспорту: Конспект лекцій / Т.В.Буцько, О.Е. Шандер, Л.О. Пархоменко, В.М. Прохоров. – Харків: УкрДУЗТ, 2019. – 80 с.
3. Класифікація засобів автоматики і телемеханіки. URL: <http://vozoм.org.ua/index.php/vstup/klasyf-ait>.
4. Мойсеєнко В. І., Курцев М. С., Лазарєв О. В. Технології та технічні засоби систем керування рухом поїздів: Навч. посібник. – Харків: УкрДУЗТ, 2020. – 97 с.
5. Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту. URL: <https://events.pstu.edu/creng/wp-content/uploads/sites/11/2020/07/materialy-konferencziyi-problemy-ta-perspektyvy-rozvytku-zal%D1%8Bznychnogo-transportu.pdf>
6. Організація швидкісних та високошвидкісних перевезень: Конспект лекцій / А. В. Прохорченко, Т. Ю. Калашнікова, Д. В. Константинов, П.В.Долгополов. – Харків: УкрДУЗТ, 2021. – Ч. 1. – 62 с.
7. Про стрілки стрілочних переводів. URL: <https://ukrmashservis.com.ua/ukraine/articles/pro-strelki>.
8. Залізнична світлофорна сигналізація. URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Залізнична\\_світлофорна\\_сигналізація](https://uk.wikipedia.org/wiki/Залізнична_світлофорна_сигналізація).
9. Призначення та принципи організації напівавтоматичного блокування. URL: <http://vozoм.org.ua/index.php/perehin/nrab>.
10. Про затвердження Положення про систему управління безпекою руху поїздів. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0729-11#Text>.
11. Автоматичне блокування. URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Автоматичне\\_блокування](https://uk.wikipedia.org/wiki/Автоматичне_блокування).



12. Автоматична локомотивна сигналізація як самостійний засіб сигналізації та зв'язку. URL: <https://ips.ligazakon.net/document/TM035071>.

13. Оптимізаційні тягові задачі на залізничній мережі. URL: <https://journals.indexcopernicus.com/api/file/viewByFileId/775115.pdf>.

14. OpenTrack Railway Technology. URL: [http://www.opentrack.ch/opentrack/opentrack\\_e/opentrack\\_e.html](http://www.opentrack.ch/opentrack/opentrack_e/opentrack_e.html).

15. Шляхи удосконалення автоматизованої логістичної системи управління залізничними станціями. URL: <https://api.dspace.khadi.kharkov.ua/server/api/core/bitstreams/c8d7de0c-db19-4074-a3e0-02cf699d0ba9/content>.

16. AnyLogic. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/AnyLogic>.