

**УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ**

**ФАКУЛЬТЕТ ІНФОРМАЦІЙНО-КЕРУЮЧИХ СИСТЕМ
ТА ТЕХНОЛОГІЙ**

**Кафедра автоматики та комп'ютерного телекерування
рухом поїздів**

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

**до виконання практичних робіт з дисципліни
*«ІНФРАСТРУКТУРНІ СКЛАДОВІ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ
БЕЗПЕКИ РУХУ НА ШВИДКІСНИХ ЗАЛІЗНИЦЯХ»***

Харків 2024

Методичні вказівки розглянуто та рекомендовано до друку на засіданні кафедри автоматики та комп'ютерного телекерування рухом поїздів 2 лютого 2024 р., протокол № 6.

Методичні вказівки призначено для здобувачів вищої освіти другого (магістерського) рівня спеціальності 174 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка» усіх форм навчання, що вивчають дисципліну «Інфраструктурні складові забезпечення безпеки руху на швидкісних залізницях».

Укладачі:

доценти В. О. Сотник,

А. А. Прилипко

Рецензент

проф. В. І. Мойсеєнко

ЗМІСТ

Практична робота 1. Швидкісні залізничні магістралі, історія виникнення, інфраструктурні складові та особливості побудови	4
Практична робота 2. Системи управління та сигналізації на швидкісних магістралях	10
Практична робота 3. Безпечність і надійність систем залізничної автоматики високошвидкісних магістралей	20
Практична робота 4. Визначення техніко- економічної доцільності побудови систем управління рухом поїздів на швидкісних і високошвидкісних залізницях	26
Практична робота 5. Високошвидкісний рухомий склад. Аеродинамічні завдання, які вирішуються при створенні високошвидкісних поїздів	32
Практична робота 6. Потяги на магнітній подушці, левітація та гіперлуп	37
Практична робота 7. Колія для високошвидкісних магістралей	43
Практична робота 8. Системи енергопостачання для високошвидкісних магістралей	50
Практична робота 9. Перспективи розвитку швидкісних та високошвидкісних магістралей в Україні. Українська залізнична швидкісна компанія	61
Практична робота 10. Європейська система управління залізничним рухом (ERTMS)	68
Список літератури	86

ПРАКТИЧНА РОБОТА 1. Швидкісні залізничні магістралі, історія виникнення, інфраструктурні складові та особливості побудови

1.1 Мета роботи

Ознайомитись з історією розвитку швидкісних магістралей, основними вимогами до них та інфраструктурними складовими.

1.2 Теоретичні відомості

Високошвидкісний наземний залізничний транспорт – це транспорт, в якому поїзди можуть рухатися зі швидкістю 200 км/год і більше. Як правило, такі поїзди курсують по виділених коліях.

Сучасні високошвидкісні поїзди розвивають швидкість до 350-400 км/год у звичайному режимі та 560-580 км/год під час тестової експлуатації. Завдяки своїй швидкості і високій пропускну здатності вони складають серйозну конкуренцію іншим видам транспорту і при цьому зберігають перевагу низьких витрат на перевезення великої кількості пасажирів.

В Японії перший регулярний рух швидкісних поїздів розпочався в 1964 році з проектом "Сінкансен".

Франція, Німеччина та Італія стали піонерами будівництва національних мереж високошвидкісних залізниць в Європі. Перший проєкт був реалізований у Франції в 1981 році, коли відкрилася швидкісна залізниця Париж–Ліон (417 км). В подальшому вона була продовжена до Марселя, перетворившись на Південно-Східну магістраль довжиною 878 км; другою лінією стала Південно-Західна магістраль (Аквітанія), що з'єднала Париж і Бордо (700 км). Згодом була побудована лінія від Парижа до бельгійського кордону.

Пасажирські поїзди на цих лініях розвивали швидкість 250-300 км/год (у майбутньому планується збільшити швидкість до 350 км/год) і могли з'єднати Париж з Марселем (майже через всю Францію) всього за 3 години, а Париж зі Страсбургом – за 2 години 30 хвилин.

До кінця 1990-х років високошвидкісні залізничні мережі з'єднали Францію і Бельгію, Францію і Великобританію (через тунель під Ламаншем), Бельгію і Нідерланди, Бельгію і Німеччину, а також Францію і Італію.

Високошвидкісна залізниця (ВШЗ) – це, як правило, (спеціальна) високошвидкісна залізнична лінія, призначена для пасажирських поїздів, що рухаються зі швидкістю понад 200 км/год на всій її довжині або ділянці.

Поняття високошвидкісного наземного транспорту (і високошвидкісних поїздів) є відносно умовними і може змінюватися залежно від країни до країни і від періоду до періоду: на початку 20-го століття високошвидкісні поїзди визначалися як поїзди, що рухаються зі швидкістю 95-100 миль/год (150-160 км/год) або більше. Оскільки швидкість поїздів продовжувала зростати, цей бар'єр поступово підвищувався.

Проекти високошвидкісних залізниць характеризуються високою вартістю будівництва і є одними з найбільших інфраструктурних проєктів у країні, в якій вони реалізуються. Такі проєкти мають значний довгостроковий вплив на транспортну систему країни та її розвиток. Світовий досвід показує, що будівництво мережі автомагістралей може генерувати значні соціальні та економічні вигоди, які виправдовують витрати на її будівництво.

Особливості швидкісних і високошвидкісних магістралей

Вимоги до інфраструктури високошвидкісних поїздів визначаються необхідністю забезпечення високої безпеки, надійності всієї колійної структури та її елементів, комфорту пасажирів і мінімальної шкоди

навколишньому середовищу. Для поліпшення аеродинамічних характеристик поїзди повинні мати обтічну передню частину з мінімальною кількістю виступаючих частин і, якщо такі є, повинні бути обладнані спеціальними обтічниками. Крім того, ходове обладнання має бути закрите спеціальним екраном. Такі конструктивні заходи також зменшать аеродинамічний шум.

Механічний опір в основному обумовлений взаємодією між колесами і рейками, тобто для зменшення опору необхідно зменшити прогини рейок. З цією метою залізничні колії переважно укріплюють важкими рейками, залізобетонними шпалами та гравійним баластом.

Використання алюмінієвих сплавів і пластиків для виготовлення кузова також зменшує навантаження, яке колеса створюють на рейки. Нарешті, можна взагалі відмовитися від коліс, тобто зробити так, щоб поїзд висів над коліями, що досягається за допомогою лінійних тягових двигунів і надпровідників. На цьому принципі засновані поїзди на магнітній левітації. Щоб забезпечити високу вихідну потужність, потяг повинен мати дуже потужне первинне джерело енергії. Саме тому практично всі високошвидкісні поїзди класифікуються як електричні транспортні засоби (електровози, електропоїзди).

Тягові електродвигуни швидкісних і високошвидкісних поїздів

Першим поколінням була колекторна система постійного струму. Вихідна потужність таких двигунів в основному обмежена колекторним щітковим вузлом.

З цієї причини в наступному поколінні поїздів використовувалися безколекторні тягові двигуни (синхронні (вентильні) та асинхронні).

Ці двигуни мають дуже високу потужність, наприклад, двигуни постійного струму TGV-PSE (1-го покоління) мають потужність 538 кВт, а синхронні двигуни T6V-A (2-го покоління) – 1100 кВт. Гальма на

швидкісних поїздах переважно електричні, особливо реостатні, які можуть використовуватися у високошвидкісних зонах.

Земляне полотно для високошвидкісних поїздів стає все більш вимогливим з точки зору міцності, стабільності, мінімальної деформації та довговічності.

Розміри поперечного перерізу земляного полотна, а отже, і обсяги земляних робіт при будівництві високошвидкісних залізниць значною мірою визначаються відстанню між осями (шириною колії) головних колій. Для зменшення аеродинамічного впливу зустрічних поїздів один на одного на високошвидкісних залізницях відстань між осями головних колій збільшують. На звичайних лініях вона становить приблизно 4 м, тоді як на швидкісних – 4,7-4,8 м (залежно від країни). При цьому ширина основної платформи сягає понад 13 м.

Подолання опору швидкісних поїздів залежить від тертя кочення, аеродинамічних навантажень та ухилів колії і досягається за допомогою тяги. Ведучий вал рейкового транспортного засобу з'єднаний з електродвигуном за допомогою механічної передачі крутного моменту. Живлення тягових електродвигунів здійснюється від генераторів електростанцій через зовнішні та внутрішні (тягові) блоки живлення. Характер тягових навантажень відрізняється на високошвидкісних залізницях і на залізницях з великою інтенсивністю руху, короткими інтервалами руху поїздів (3-15 хвилин) і споживанням електроенергії 10-18 МВт і більше. Такі лінії характеризуються імпульсними навантаженнями як на дроти тягової мережі, так і на перетворювачі, розподільчі пристрої, пости секціонування та інше лінійне обладнання на підстанціях. Це призводить до зростання пікових навантажень на підстанціях, збільшення втрат напруги та енергії в обладнанні тягового електропостачання, ускладнення умов струмознімання та підвищеного нагріву проводів повітряних ліній. Питоме енергоспоживання високошвидкісних поїздів

коливається від 1 до 1,3 МВт/км, досягаючи 1,7-2,5 МВт/км для двоколієних ліній підвищеної пропускної здатності.

Основними способами посилення тягового електропостачання є:

- підвищення рівня напруги в електротяговій мережі шляхом переведення електрофікованої лінії на систему електричної тяги однофазного струму напругою 25 кВ;

- застосування системи розподіленого живлення електротягової мережі з поздовжніми лініями високої напруги на перемінному струмі – система 2 x 25 кВ з автотрансформаторними пунктами;

- застосування коаксіального кабелю;

- застосування системи з лінійними перетворювальними пунктами живлення контактної мережі від поздовжньої високовольтної лінії електропередачі.

Ефективність окремих заходів є різною і, як правило, недостатньою. Для покращення тягового електропостачання на конкретних маршрутах для досягнення показників якості електропостачання, необхідних для високошвидкісних поїздів, необхідно застосовувати комплекс заходів. Поряд з технічними заходами, зменшення втрат напруги в тяговій мережі можна досягти за рахунок раціонального управління рухом поїздів. Наприклад, можна запровадити пакетний графік руху, коли швидкісні поїзди курсують з інтервалами, що дорівнюють часу проходження найдовшої ділянки між підстанціями, таким чином, щоб на кожній міжпідстанційній ділянці був лише один поїзд.

Засоби автоматики та телемеханіки швидкісних магістралей

У європейських країнах для керування рухом поїздів використовують різні системи сигналізації. Кожна з цих систем є дорогою в експлуатації та потребує місця для встановлення обладнання. Така різноманітність також робить перетин кордонів більш складним і дорогим.

Також така різноманітність і неоднорідність систем сигналізації в Європі є основною перешкодою для розвитку високошвидкісного залізничного транспорту на континенті.

Наприклад, на залізничному переїзді Таліс у Франції було встановлено одночасно сім систем сигналізації. Кожна система дорога сама по собі, займає багато місця і вимагає від машиніста використання декількох інтерфейсів. При переїзді з однієї країни в іншу систему сигналізації також доводиться змінювати, так як кордони не зникли повністю.

Додаткове мультисистемне обладнання, встановлене на локомотивах для перетину кордонів, може становити до 30 % вартості локомотива. Системи в багатьох країнах мали низький рівень безпеки. У багатьох країнах не було автоматичної локомотивної сигналізації з автоматичним регулюванням швидкості. Під час подорожей міжнародними маршрутами локомотиви повинні бути обладнані такою ж кількістю систем, як і кількість країн, в яких вони працюють, що збільшує вартість оснащення та обслуговування транспортних засобів. Наприклад, поїзди Thalys TGV, що курсують чотирма країнами (Франція, Бельгія, Нідерланди та Німеччина), оснащені сімома різними системами, що збільшує вартість кожного поїзда на 60 %. Ці проблеми призвели до необхідності розроблення спільної європейської системи управління поїздами.

Питання та завдання для самоконтролю і самопідготовки

1 У чому полягають особливості організації та управління високошвидкісними залізничними перевезеннями?

2 Дати коротку історичну довідку про розвиток високошвидкісних залізничних перевезень та швидкісного транзиту в Європі та інших країнах.

3 Описати особливості будівництва високошвидкісних залізниць (ВШЗ) та швидкісних поїздів.

4 Описати технічне оснащення високошвидкісних залізниць у різних країнах.

5 Перерахувати технічні особливості використання систем управління та сигналізації на високошвидкісних залізницях.

6 Перерахувати технічні особливості використання систем СЦБ.

7 Описати особливості застосування та методи посилення тягового електропостачання на швидкісних та високошвидкісних ділянках залізниць.

8 Назвати методи захисту навколишнього середовища від вібрацій та шуму ШМ.

9 Самостійно вивчити питання надійності та безпеки систем залізничної автоматики на швидкісних залізницях.

ПРАКТИЧНА РОБОТА 2. Системи управління та сигналізації на швидкісних магістралях

2.1 Мета роботи

Вивчити основні системи управління, контролю та сигналізації, які застосовуються на швидкісних та високошвидкісних ділянках залізниць.

2.2 Теоретичні відомості

Організація високошвидкісного залізничного транспорту призвела до підвищення вимог до систем автоматики, телемеханіки та зв'язку. Першорядне значення має забезпечення високої швидкості руху, безпеки руху та надійності обладнання і систем управління.

На залізницях застосовуються складні схеми управління рухом поїздів на основі інтегрованих систем сигналізації, централізації та блокування. Використовуються багаторівневі системи автоблокування, як правило, без

напільних світлофорів, з регулюванням швидкості руху поїздів та АЛС з централізованим управлінням стрілками і сигналами в окремих пунктах з боку диспетчера.

Аналіз функціонування ВШМ у багатьох зарубіжних країнах, а також рекомендації міжнародних організацій, що беруть участь у створенні ВШМ (головним чином, Міжнародного союзу залізниць), дозволив сформулювати деякі загальні положення щодо систем управління рухом поїздів (СУРП). Одним з найважливіших є висновок про те, що сучасні СУРП повинні базуватися на принципах так званих «цифрових мереж», відомих як цифрові мережі з інтегрованими послугами (ISDN). Такі системи будуються для спільного вирішення завдань управління ВШМ і надання послуг зв'язку.

СУРП повинна базуватися на принципах автоматичного управління і максимальної автоматизації функцій оператора. Сюди входять стаціонарні пристрої системи управління (СУ), що складаються зі стаціонарних пунктів управління (СПУ), розташованих на станціях і колійних пунктів концентрації (КПК), розташованих уздовж ВШМ, та пристрої бортової системи управління (БСУ), що встановлюються безпосередньо на рухомому складі.

Крім того, станційна апаратура системи управління включає підсистему диспетчерських центрів управління (ДЦУ), які координують управління всіма компонентами підсистеми ВШМ:

- централізоване управління стрілками і сигналами на одній або декількох станціях і перегонах з єдиного диспетчерського пункту, з забезпеченням резервного управління електричною централізацією на цих станціях та колійних постах;

- безперервний контроль за положенням стрілок, вільністю (зайнятістю) станційних колій і колій, прилеглих до станцій, а також за показаннями вхідних, маршрутних і вихідних світлофорів;

- безперервний контроль технічного стану пристроїв СЦБ, централізації та блокування на станціях і перегонах;

- можливість зміни параметрів руху в разі несправності блок-ділянок, включаючи екстрену зупинку швидкісного рухомого складу та передачу дозволу на проїзд швидкісного рухомого складу через світлофори із забороняючим показанням;

- передачу даних для інформування пасажирів та працівників, які працюють на колії, про прослідування швидкісного рухомого складу.

Сигналізація, централізація та блокування станцій і колій повинні забезпечувати:

- проїзд високошвидкісного рухомого складу зі швидкістю до 400 км/год в обох напрямках за встановленими маршрутами, що не перетинаються на станціях і окремих коліях;

- недопущення виходу транспортних засобів ВШМ на ділянки колії, зайняті іншим рухомим складом;

- контроль положення рухомого складу ВШМ, переведення стрілок, контроль їх положення, зовнішнє замикання при підготовці колії, контроль сигналізації, виконання необхідного комплексу взаємопов'язаних операцій;

- контроль технічного стану обладнання та технічних засобів, а також їх резервування при необхідності;

- автоматичне попередження про наближення високошвидкісного рухомого складу на станціях;

- запобігання переводу стрілок під швидкісним рухомим складом.

Одним з методів контролю інтервалу між поїздами на ділянці є автоблокування, при якому перегін поділяється на фіксовані блок-ділянки. По кожній блок-ділянці може рухатися лише один поїзд.

При запровадженні автоблокування вирішуються два питання для забезпечення безпеки руху поїздів:

- захист від нагонів та зіткнень в одному напрямку;

- захист від зустрічного руху.

Сигнали блокування захищають і контролюють блок-ділянку позаду. Існують системи розділення поїздів із захисними ділянками та без них.

Системи автоблокування з захисними ділянками використовуються на більшості європейських залізниць і на багатьох неєвропейських залізницях.

Основне призначення захисної ділянки при реалізації блокувальних залежностей – забезпечити додаткову безпеку на випадок, якщо машиніст помилився при прицільному застосуванні гальм.

У деяких регіонах високий піковий рух поїздів вимагає будівництва додаткових колій або впровадження нових технічних рішень для збільшення пропускної спроможності на існуючих лініях. Одним із резервів збільшення пропускної спроможності є більш точна інформація про місцезнаходження поїздів. Це пов'язано з тим, що більшість систем автоматичного блокування реєструють зайняття навіть одного метра колії як зайняття всієї блок-ділянки. Можливим вирішенням цієї проблеми є зменшення довжини блок-ділянки. Інший варіант – визначити точну позицію першого та останнього вагона. Це дозволить зменшити відстань між поїздами до величини, що відповідає довжині гальмівного шляху поїздів. Якщо відстань між поїздами більша за гальмівний шлях наступного поїзда, немає необхідності встановлювати обмеження швидкості. Якщо відстань менша за гальмівний шлях, другому поїзду дається вказівка знизити швидкість відповідно до розрахованої кривої швидкості гальмування.

Використання систем з рухомими блок-блоками почалося наприкінці 20-го століття на лініях метрополітену. Система управління рухом SELTRAC, що використовувалась там, заснована на тому принципі, що бортове обладнання визначає положення поїзда і передає його на центральний пост. Кабельні петлі, прокладені вздовж лінії, перетинаються через кожні 25 метрів, тому похибка у визначенні місцезнаходження поїзда не перевищує 6 метрів. Потяги метро мають стандартну довжину, а цілісність поїзда контролюється за допомогою дротів, прокладених між

вагонами. Це дозволяє з заданою точністю визначати положення останнього вагона поїзда.

Для організації руху поїздів у системах з рухомими блок-ділянками можуть бути використані й інші технічні рішення. Основними вимогами до таких систем є безпека пристроїв позиціонування та безперервний обмін інформацією з поїздом. Рухомі блок-ділянки поки що не використовуються на звичайних залізницях. Крім того, при відмові від фіксованих блок-ділянок, необхідно постійно контролювати цілісність поїзда. Оскільки ефективного вирішення цієї проблеми в традиційних залізничних системах не було знайдено, поділ поїздів фіксованими блок-ділянками став стандартним принципом безпеки дорожнього руху в більшості країн світу.

Слід зазначити, що сучасні системи контролю інтервалу між поїздами на коліях також використовують різні типи точкових датчиків, в тому числі індуктивні, які реєструють зміни електромагнітного поля при проходженні коліс.

Системи рахунку вісей. Система складається з колійних датчиків, що реєструють проїзд колеса, які, зазвичай, встановлюють попарно для визначення напрямку руху, колійного блоку, який перетворює аналоговий сигнал первинного перетворювача в цифровій (АЦП), електронного вирішального пристрою, який порівнює результати підрахунку осей рухомого складу, що увійшли та вийшли в межах контрольованої ділянки та видає інформацію про його вільність чи зайнятість.

Євробаліза. Баліза (Balise) – пасивний передавач, що розміщується на шляху слідування поїзда і здатний сполучатися з ним.

Євробаліза (Eurobalise) – баліза відповідного виконання, розроблена для застосування у системі ERTMS/ETCS. Євробалізи є основним дорожнім пристроєм системи.

ERTMS. Конструктивно євробалізу виконано в плоскому корпусі, який розміщується у міжрейковому просторі. При проходженні поїзда над євробалізою бортове обладнання локомотива випромінює високочастотний сигнал, за допомогою якого забезпечується електроживлення євробаліз.

З поїзда на євробалізу передаються високочастотні електромагнітні коливання частотою 27,1 МГц. Обмін даними між євробалізою та поїздом проходить на частоті 42 МГц. Передані дані називають телеграмами. Розрізняють балізи з фіксованим набором даних для передачі на поїзд – Balise Fixed – «фіксовані» балізи і балізи зі змінними телеграмами (switchable балізи, що перемикаються), інформація, що передається в яких може змінюватися зовнішніми командами.

Балізи, що перемикаються, підключають до лінійних електронних модулів, які управляються командами з центру управління рухом або сигналами від колійних систем регулювання. Дані, що зберігаються у пасивних балізах, можна перезаписувати безконтактними програмуючими пристроями.

Розмір повідомлення, що передається між євробалізою та локомотивом, становить 341 чи 1023 біти. Повідомлення складається з користувацьких даних розміром 83 слова об'ємом по 11 біт. Кожне слово містить 10 біт даних, отже, довге повідомлення містить 830 інформаційних біт, а коротке повідомлення – 210 біт. Біти cb, sb, esb та перевірочні біти використовуються для контролю цілісності повідомлення. Їхнє призначення описано в документі Subset-036 «FFIS for Eurobalise» ERTMS/ETCS – Class 1. Інформаційні біти піддаються кодуванню в цифровому каналі, що дозволяє захистити інформацію від пошкодження під час передачі. Зона дії прийомовідповідача – приблизно 50 см.

Лінійний кодуючий пристрій LEU. LEU використовується як інтерфейс між євробалізою, що перемикається, і лінійними пристроями, наприклад, системою автоблокування. LEU отримує дані з управління

рухом поїздів і перетворює їх на повідомлення, що передаються відповідним групам баліз для подальшої ретрансляції на поїзд. Кожна «Група LEU» може керувати до 4 балізами. Для керування групою до 8 баліз LEU розміщується в колійній шафі поблизу обладнання, з яким воно пов'язане, для отримання сигнальної інформації (наприклад, пристрої блокування). Максимальна відстань між LEU та балізою – 5 км.

Супутникові системи позиціонування. Радіонавігаційні системи за допомогою бортової апаратури та сигналів передавачів, розташованих на Землі або на штучних супутниках Землі, дозволяють рухомому об'єкту вимірювати параметри свого руху: координати, швидкість, прискорення.

З розвитком технологій і комунікацій космічні радіонавігаційні системи викликають все більший інтерес завдяки багатьом перевагам над наземними системами, наприклад, стабільному зв'язку на пересіченій місцевості.

Наразі супутникові навігаційні системи можуть визначати координати рухомих об'єктів з точністю до 6 м, що є цілком достатнім для контролю координат руху поїздів. Крім того, супутникові системи можуть забезпечити обмін інформацією між залізничним транспортом та станціями управління.

Однак випробування таких навігаційних систем виявили низку проблем. Зокрема, такі системи не здатні розрізнити координати поїздів на сусідніх коліях. Перспективним є використання супутникових навігаційних систем у поєднанні з традиційними пристроями (АЛС, бортові колійні вимірювачі параметрів руху) та балізи.

Як бортові вимірювачі параметрів руху в даний час широко використовуються осьові вимірювачі пройденого шляху та миттєві спідометри (одометри). Принцип їх дії базується на визначенні кутового переміщення колісної пари. Датчики первинної інформації цих приладів генерують імпульсний сигнал, з якого обчислюється відстань, пройдена

поїздом, а отже, і його координати. Частота імпульсів визначає швидкість руху, а швидкість зміни частоти імпульсів – прискорення поїзда.

Для більш точного визначення положення поїзда проводиться диференціальне вимірювання з використанням даних наземної станції, положення якої відомо заздалегідь. Позиція порівнюється з вимірними даними супутникового сигналу. Це дозволяє виявити однакові помилки позиціонування для всіх найближчих об'єктів. Щоб визначити, на якій колії перебуває потяг, похибка має бути не більше 2 метрів.

Використання супутникових навігаційних систем замість звичайних датчиків відстані, таких як рейкові ланцюги та системи підрахунку осей, пов'язане з кількома проблемами. Однією з них є необхідність оснащення всіх поїздів, що курсують на ділянці, обладнанням для моніторингу цілісності поїздів.

Ця проблема легко вирішується на регіональних маршрутах, де курсують лише короткі пасажирські поїзди. Іншою проблемою є необхідність закриття ділянки, якщо втрачається зв'язок хоча б з одним поїздом. Через ці обмеження система, що розглядається, в основному підходить для автономних залізничних мереж зі швидкісним рухом.

Автоматизація керування поїздом. За наявності на локомотиві динамічної кривої дозволеної швидкості в принципі можливе автоматичне керування поїздом.

Однак є причини, які ускладнюють перехід до повністю автоматизованого управління. Головна з них полягає у нездатності автоматичних систем реагувати на непередбачувані ситуації, наприклад на появу сторонніх об'єктів по дорозі. Тому ще однією причиною на шляху повної автоматизації управління є необхідність обладнання лінії засобами безперервного стеження за наявністю сторонніх об'єктів на шляхах або огороження лінії, яку було б не можна подолати як ненавмисно, так і навмисно. Але домогтися повного захисту досить складно і затратно.

Керуючі високошвидкісні системи Європи та Південно-Східної Азії

Європейські системи ERTMS\ETCS, GSM-R

Важливою особливістю системи є комп'ютеризований, безперервний і централізований контроль поїзної ситуації. Система розрахована для швидкості до 287,5 миль/год. Єдиний центр керує приблизно 62 мільярдами двоколісної ділянки.

Система перекривається національною системою світлової сигналізації. Вона дозволяє організувати безпечний двонаправлений зв'язок поїзд/центр, реалізований за допомогою прокладеної кабельної петлі в жолоб на всю довжину лінії.

Німецька система сигналізації для ліній HS LZB (LinienZugBeeinflussung)

Кожен центр постійно підключений до всіх централізацій і поїздів на його території, а також до прилеглих центрів для вхідних і вихідних даних.

Відповідальний комп'ютер на колії циклічно надсилає повідомлення кожному поїзду на бортовий комп'ютер щодо тривалості доступного гальмування, відстань і локацію початку гальмування, потужність гальмівного обладнання поїзда.

Іспанські системи сигналізації для ліній HS

Швидкість до 187,5 миль/год.

Німецький LZB перекривався національною світловою сигналізацією система ASFА (Anuncio de Senales y Frenado Automatico). Остання є системою для бортового повторення показань напільних світлофорів, що використовуються звичайними поїздами, що курсують на швидкісній лінії.

Система ASFА.

Швидкість до 137,5 миль/год.

EBICAB (Electrique Bureau CABine) є напівбезперервною.

Система на основі придорожніх транспондерів, які передають на локомотив інформацію для спостереження за кривою гальмування.

Французька система сигналізації для ліній HS: TVM

Система Vital ATP (автоматичний захист поїзда) з розподіленою архітектурою для швидкості до 200 миль/год. Центри управління (ТСС) розташовані приблизно кожні 9 миль. Система працює без колійної сигналізації. Передбачена безперервна передача інформації від колії через колійні кола до поїзда.

Питання та завдання для самоконтролю і самопідготовки

- 1 Охарактеризуйте технічне оснащення ВШМ у різних країнах.
- 2 Поясніть принципи поділу поїздів на перегоні при різних системах інтервального регулювання рухом поїздів.
- 3 Опишіть принципи роботи датчиків розташування поїзда та рейкових ланцюгів.
- 4 Наведіть класифікацію рейкових ланцюгів.
- 5 Який принцип роботи точкових датчиків?
- 6 Охарактеризуйте призначення та принцип роботи євробалізи.
- 7 Охарактеризуйте призначення та принцип роботи шлейфу.
- 8 Опишіть супутникові системи позиціонування.
- 9 Опишіть системи визначення місця поїзда.
- 10 Опишіть пристрої перевірки цілісності складу.
- 11 Які існують шляхові та локомотивні системи безпеки?
- 12 Охарактеризуйте основні принципи роботи автоматичного блокування.
- 13 Охарактеризуйте вимоги до гальмівного шляху та мінімальної довжини блок-ділянок.

14 Опишіть основні принципи роботи автоблокування з тональними рейковими ланцюгами.

15 Структура та принцип роботи тональних рейкових кіл.

16 Структура та принцип роботи автоматичної локомотивної сигналізації.

17 Опишіть основні функції АЛС.

18 Диспетчерське управління на ВШМ. Основні вимоги і принципи побудови.

19 Автоматичне зчитування інформації з рухомого складу.

20 Охарактеризуйте системи зі зберіганням статичних даних про шляхи в підлогових пристроях.

21 Охарактеризуйте системи з безперервною передачею великого обсягу даних та динамічним контролем швидкості.

22 Опишіть загальну структуру європейської системи управління рухом поїздів ERTMS/ETCS.

23 Які є основні підсистеми та пристрої ERTMS/ETCS?

ПРАКТИЧНА РОБОТА 3. Безпечність і надійність систем залізничної автоматики високошвидкісних магістралей

3.1 Мета роботи

Оволодіння методами і принципами визначення надійності функціонування систем залізничної автоматики швидкісних і високошвидкісних магістралей.

3.2. Теоретичні відомості

Безпека експлуатації швидкісної залізниці, як і інших видів залізничного транспорту, пов'язана з впливом двох об'єктивних факторів:

відмовами технічних систем та людськими помилками. Негативний вплив цих факторів проявляється у вигляді зниження безпеки транспортної системи та її готовності до надання транспортних послуг. Для того, щоб зменшити вплив цих факторів, сучасні системи технічного регулювання безпеки дорожнього руху в ВШМ передбачають певні заходи. Вони базуються на аналізі ризиків відповідно до міжнародного стандарту ІЕС 62278 (або EN 50126 Комісії CENELEC) і широко застосовуються протягом останніх 20 років для забезпечення безпеки систем залізничного транспорту. Аналіз статистики аварійності на залізничному транспорті показує, що застосування цього та інших відповідних стандартів не призводить до бажаного зниження аварійності. Зокрема, статистика за період 1990-2018 рр. включає аварії з тяжкими наслідками (загибель пасажирів, численні травми) або аварії, які потенційно могли мати такі наслідки, але не були реалізовані. Кількість аварій зростає з кожним десятиліттям.

Які основні причини цього зростання? Основна причина – людський фактор. Аварії на ВШМ, спричинені людським фактором, мають найсерйозніші наслідки.

Наступною за поширеністю причиною аварій на магістралях є відмови технічних засобів, що використовуються для забезпечення руху поїздів.

Теорія безпечної експлуатації залізниць включає в себе ряд технічних рішень і організаційних заходів в системах управління рухом. З точки зору систем залізничної автоматики стан безпеки ділянки, по якій проходить поїзд, визначається її вільністю та справністю. При проходженні через роздільні пункти (станції, роздільні пункти і т. д.) безпека визначається рядом додаткових вимог, що стосуються положення і стану стрілочних переводів, безпечного задання маршруту і багатьох інших умов.

Алгоритми видачі дозволів на рух поїздів аналізують інформацію про стан усіх елементів інфраструктури, пов'язаних з маршрутом поїзда:

- інформацію про наявність та зайнятість колії та придатність до експлуатації ділянки колії;

- інформацію про положення рухомих елементів колії;

- дані про вільність колії від інших перешкод.

Всі ці дані повинні оброблятися захищеними логічними системами.

Керування рухом не повинно обмежуватися командами "рушай" і "зупинись". Необхідно також встановити можливість обмеження швидкості. Беручи до уваги динамічні характеристики поїздів, що рухаються, обмеження швидкості повинні бути встановлені заздалегідь і мати часовий інтервал для виконання. Крім того, слід використовувати пристрої для моніторингу швидкості поїзда і впливу на керування поїздом у разі перевищення дозвільної швидкості. Це можуть бути прості пристрої аварійної зупинки або більш складні системи, такі як автоматична локомотивна сигналізація і управління гальмами або автоматичні системи управління рухом поїздів.

Таким чином, теорія безпечного управління залізничним транспортом є результатом таких основних технічних вимог:

1) всі ділянки колії, включені в маршрут, повинні бути вільними і залишатися вільними до тих пір, поки поїзд повністю не пройде цю ділянку;

2) всі рухомі елементи, що входять до маршруту, повинні бути встановлені і зафіксовані в необхідному положенні до моменту проходження поїзда;

3) поїзд повинен рухатися таким чином, щоб його швидкість не перевищувала необхідну швидкість при наближенні до певної точки.

Технічні вимоги до залізничного обладнання в цій галузі визначені в EN 50126 [CENELEC, 1999], де RAMS – це аббревіатура від Reliability, Availability, Maintainability and Safety (надійність, доступність, ремонтпридатність і безпека).

Зв'язок між елементами RAMS

Цей стандарт визначає процедури впровадження та застосування інтегрованої системи управління надійністю, доступністю, ремонтпридатністю та безпекою для залізничних компаній, залізничної галузі та їхніх постачальників в межах Європейського Союзу. Метою управління є гармонізація цих показників на всіх етапах життєвого циклу системи.

Життєвий цикл системи – це діяльність протягом певного періоду часу, яка починається з проєктування системи і закінчується виведенням її з експлуатації, коли вона більше не використовується.

Життєвий цикл системи

EN 50126 (RAMS) визначає термін "небезпека" як ситуацію, яка може завдати шкоди людям або інфраструктурі. Отже, "безпека" визначається як відсутність неприйняттого ризику заподіяння шкоди (збитків). Безпека та експлуатаційна готовність взаємопов'язані за своїм змістом, і конфлікти, спричинені відсутністю координації між вимогами безпеки та експлуатаційної готовності, можуть перешкоджати досягненню необхідної надійності системи. Безпека системи повинна забезпечуватися функціями, які захищають систему від небезпечних наслідків технічних відмов і ненавмисних людських помилок.

Надійність системи повинна забезпечуватися здатністю захищати себе від ненавмисних людських помилок. Експлуатаційна готовність – це здатність системи виконувати необхідні функції протягом визначеного часу або часового інтервалу та за визначених умов, та за умови наявності необхідних зовнішніх засобів.

Цілі безпеки та експлуатаційної готовності системи можуть бути досягнуті лише за умови постійного дотримання вимог надійності та експлуатаційної готовності цієї системи, а також проведення регулярного технічного обслуговування. У широкому сенсі забезпечення безпеки також

включає в себе і захист від небезпечних наслідків, спричинених навмисними діями людини (вандалізм, ірраціональна поведінка). Тому, крім аббревіатури RAMS, іноді використовується аббревіатура RAMSS або RAMS(S), яка відноситься до двох значень безпеки, а саме "безпека" і "захищеність".

На продуктивність RAMS системи впливають помилки (збої) і відмови, спричинені станом системи, умовами експлуатації та умовами технічного обслуговування.

Продуктивність RAMS

Аналіз факторів, що впливають на RAMS залізничних систем, слід проводити з урахуванням технічних та людських факторів.

Заходи, спрямовані на виконання вимог RAMS, можна розділити на такі категорії:

- профілактичні заходи: зменшують ймовірність виникнення шкоди;
- захисні заходи: зменшують наслідки шкоди.

Якість перевізного процесу на високошвидкісних залізницях, як і на залізничному транспорті в цілому, визначається швидкістю та безпекою доставки пасажирів до місця призначення. Обидва ці показники критично залежать від надійності систем автоматики. Відмови цих систем можуть призвести до затримок поїздів, а в гіршому випадку – до аварій і катастроф. Надійність обладнання залізничної автоматики полягає в її здатності забезпечувати безперебійне і безпечне управління рухом поїздів при заданих умовах експлуатації. Надійність цих систем має п'ять складових: безвідмовність, безпека, довговічність, експлуатаційна готовність і захищеність.

Досвід експлуатації технічних систем показує, що неможливо врахувати всі фактори, які негативно впливають на безпеку, та виключити несприятливий вплив на здоров'я людей і навколишнє середовище через випадковий характер цих факторів. Тому абсолютна безпека не може бути досягнута. Необхідно чітко розрізняти фактичні рівні безпеки технічних заходів. Таким чином, розумно прийнятний рівень небезпеки, часто вимагає

складних технічних рішень і значних економічних витрат для його досягнення. Згідно з експлуатаційними даними, небезпечні відмови на ВШМ трапляються вкрай рідко. Причиною цього є те, що при проектуванні, виготовленні та експлуатації систем автоматизації ВШМ суворо дотримуються вимог безпеки. В середньому лише 3 % аварій та інцидентів трапляються в секторі СЦБ та телекомунікацій. Оцінку фактичного рівня безпеки елемента або системи можна отримати шляхом порівняння експериментальних даних про небезпечні відмови великої кількості пристроїв залізничної автоматики при тривалій експлуатації з експертними оцінками та стандартами безпеки, визнаними фахівцями в галузі залізничної автоматики та телемеханіки.

Основним завданням процедури сертифікації безпеки систем залізничної автоматики на високошвидкісних магістралях є перевірка відповідності досягнутого системою рівня безпеки значенням показників стандартизації, встановленим у технічних вимогах. Ця процедура є основною серед інших завдань, що виконуються для отримання сертифіката відповідності вимогам безпеки. Основними методами, що використовуються для підтвердження відповідності вимогам безпеки, є методи:

- на основі експертизи технічної та конструкторської документації та розрахунків за допомогою аналітичних моделей;
- прискорені імітаційні випробування на механічних моделях;
- експерименти з експериментальними системами на етапах стендових та сертифікаційних випробувань;
- випробування прототипів систем на об'єкті на етапах пусконаладжувальних робіт та розробки системи;
- збір статистичних даних про відмови під час тривалої експлуатації однієї системи або низки подібних систем.

Ці методи перераховані в порядку послідовного застосування протягом усього життєвого циклу системи. При цьому вони перераховані в порядку зростання достовірності оцінки захищеності.

Питання та завдання для самоконтролю і самопідготовки

- 1 Що включає теорія безпечного керування залізничним транспортом?
- 2 Які є базові технологічні вимоги безпечного керування рухом на ВСМ?
- 3 Охарактеризуйте основи безпеки RAMS.
- 4 Як RAMS визначає термін "небезпека"?
- 5 Як RAMS визначає термін "безпека"?
- 6 Поясніть терміни "безпека" та "експлуатаційна готовність".
- 7 Поясніть терміни "готовність, надійність та ремонтпридатність".
- 8 Охарактеризуйте фактори, що впливають на RAMS для залізниць.
- 9 Охарактеризуйте заходи для виконання вимог RAMS.
- 10 Охарактеризуйте концепцію ризику.
- 11 Як має проводитися аналіз ризику?
- 12 Які стратегії можна застосувати для досягнення безпеки системи?
- 13 Охарактеризуйте поняття надійності та безпеки систем залізничної автоматики.
- 14 Як проводиться оцінка рівня безпеки СЗАТ?
- 15 Охарактеризуйте методологію доказу безпеки СЗАТ.

ПРАКТИЧНА РОБОТА 4. Визначення техніко-економічної доцільності побудови систем управління рухом поїздів на швидкісних і високошвидкісних залізницях

4.1 Мета роботи

Придбання навиків з розрахунку економічної ефективності та технічної доцільності впровадження систем управління рухом поїздів на швидкісних і високошвидкісних залізницях.

4.2 Теоретичні відомості

Проектування об'єктів системи управління рухом поїздів виконується згідно з відповідними розділами техніко-економічного обґрунтування (ТЕО), а також економічної доцільності впровадження цих систем.

На високошвидкісних залізничних лініях повинні використовуватися перевірені системи та обладнання. Будівництво також має здійснюватися відповідно до затверджених технічних рішень та типових проєктів. Складні архітектурно-будівельні розробки та експериментальне виготовлення зразків технічних засобів не вимагаються.

Для визначення вартості проєкту на передпроектній стадії використовуються два методи, такі як: базовий індекс та індекс сукупної вартості будівництва.

Базовий індекс базується на індексі сукупної вартості будівництва, нормативах, даних про вартість раніше побудованих об'єктів та їх договірних цінах, а також інформації про продажі аналогічних об'єктів у світі.

Індекс сукупної вартості будівництва зводиться до розрахунків вартості матеріальних ресурсів на основі питомих показників їх витрати, зарплати та вартості експлуатації машин та механізмів на базі нормативної трудомісткості.

На етапі техніко-економічного обґрунтування найбільш підходящим методом є метод базових індикаторів.

Метод базового показника. У цьому випадку вартість будівництва визначається на основі кошторисних розрахунків аналогічних проєктів, або його частин.

У цьому випадку вартість будівництва визначається на основі кошторисних розрахунків аналогічних проєктів (частин), скоригованих з урахуванням специфіки даного об'єкта.

Вносяться корективи з урахуванням особливостей даного об'єкта. Отриману вартість необхідно помножити на індекс інфляції цін:

$$K = K_{\text{баз}} * J * k_t, \quad (1)$$

де $K_{\text{баз}}$ – базова вартість об'єкта;

J – індекс зростання відносно індексу вартості в цінах відповідного року;

k_t – регіональний коефіцієнт.

Зниження вартості будівництва службово-технічних об'єктів (зокрема, проміжних станцій) може бути досягнуто за рахунок використання модульних конструкцій та ін. Об'єкти також можуть бути розміщені, наскільки це можливо, в межах існуючого будівельного майданчика. Вони також можуть бути розташовані на місці існуючих будівель.

Капітальні інвестиції в обладнання включають вартість обладнання, проектно-вишукувальні роботи та будівельно-монтажні роботи.

Вартість проектування визначається за кошторисами відповідних робіт для кожного етапу технічного проекту:

- підготовка до проектування (отримання вихідних даних від замовника та підготовка проектно-кошторисної документації);
- підготовка завдання на проектування;
- укладання договору;
- обстеження (збирання даних та матеріалів, необхідних для проектування на об'єкті);
- для об'єктів СЦБ узгодження маршрутів прокладання кабелів, колій, розробка маршрутів тощо;
- виготовлення документації (креслення, інструкції, кошториси, фінансові розрахунки).

Традиційно розрізняють напільне та постове обладнання. Витрати на напільне обладнання – це витрати на електроприводи, колійні ящики, світлофори, дросель-трансформатори, перемички тощо.

Капітальні інвестиції другої групи – це витрати на постове обладнання для систем мікропроцесорної централізації, інтервального регулювання руху поїздів на перегонах, систем передачі даних, обладнання рейкових кіл та силові щити.

У зв'язку зі зміною економічної ситуації, що склалася в країні, було прийнято рішення про визначення нових підходів до відбору найбільш вигідних інвестиційних проєктів. В їх основу покладено систему показників, яка відображає як соціальну, так і комерційну значущість. Новий підхід базується на розрахунку ефективності проєктного рішення. Ефективність розраховується на основі аналізу реальних грошових потоків від інвестиційної, операційної та фінансової діяльності.

Оцінки майбутніх витрат і результатів здійснюються протягом періоду корисного використання будівлі, споруди, системи або обладнання. Цей період залежить від строку корисного використання будівлі, споруди, системи або обладнання, тривалості інвестиційного проєкту, терміну служби та вартості обладнання.

Для оцінки результатів і витрат можна використовувати поточні або прогнозні ціни. З огляду на складність прогнозування ціноутворення розрахунки ефективності слід проводити за поточними цінами. Припускається, що поточні ціни залишатимуться незмінними протягом усього розрахункового періоду.

Для практичних розрахунків економічної ефективності на залізничному транспорті капітальні вкладення розраховуються на основі значення коефіцієнта ефективності капітальних вкладень E_H :

$$E_H = 0,1 \dots 0,12, E = 0,08 \text{ і } E_H = 0,15, E = 0,1. \quad (2)$$

Приведення майбутніх витрат і результатів до кінця першого кроку, $t = 0$, здійснюється шляхом множення їх на коефіцієнт дисконтування (коефіцієнт приведення) α_t , який визначається за формулою:

$$\alpha_t = \frac{1}{(1 + E)^t}, \quad (3)$$

де t – кількість обчислювальних кроків, $t = 0, 1, 2 \dots T$;

T – горизонт розрахунку.

Порівняння та відбір проектів рекомендується здійснювати за кількома показниками: чистий прибуток після дисконтування, індекс прибутковості, показник найменших витрат, термін окупності.

Розрахунки економічної ефективності базуються на капітальних інвестиціях порівняно з очікуваною економією. На основі порівняння капітальних інвестицій та очікуваної економії операційних витрат для різних варіантів впровадження (або різних пропозицій виробників чи постачальників) капітальні інвестиції в проєкті визначаються як різниця між двома коефіцієнтами:

$$K_p = K_c - K_v, \quad (4)$$

де K_c – вартість капітальних інвестицій на будівництво (визначається за зведеним кошторисним розрахунком);

K_v – вартість коштів, що вивільняються (вартість фондів, які вивільнюються), яка визначається як

$$K_v = K_l + K_{rc} + K_m + K_{zs},$$

де K_l – залишкова вартість пристроїв СЦБ, що підлягають ліквідації (при модернізації існуючої станції, використанні існуючої мережі або її частини);

K_{rc} – вартість рухомого складу, що вивільняється внаслідок збільшення пропускної спроможності дільниці;

Км – скорочення вантажної маси на колесах;

Кзс – зворотні суми, які розраховуються згідно кошторису.

Це також спричинить зміни в операційних витратах, пов'язаних з транспортною діяльністю. Це буде забезпечено такими факторами:

- підвищенням надійності та безпеки системи;
- підвищенням продуктивності праці;
- поліпшенням експлуатаційних показників (обсягів перевезень, пропускної спроможності станцій та вузлів, оптимізації чисельності експлуатаційного персоналу, зменшення втрат перевезень, підвищення безпеки операційної системи).

На основі розрахунків капітальних вкладень та експлуатаційних витрат визначаються показники техніко-економічної ефективності від впровадження інноваційних систем управління рухом поїздів для конкретної залізничної дільниці.

Питання та завдання для самоконтролю і самопідготовки

1 Поясніть структуру затрат при будівництві систем управління рухом поїздів швидкісних магістралей.

2 Надайте оцінку техніко-економічної ефективності впровадження систем управління рухом поїздів.

3 Як визначити економічну ефективність впровадження системи?

4 З яких етапів складається будівництво систем управління і контролю на швидкісних магістралях?

5 Які методи використовуються для визначення вартості проєкту?

6 За рахунок чого може бути досягнуто зниження вартості будівництва систем управління і контролю при організації руху поїздів?

7 За якими показниками здійснюється відбір проєктів для реалізації?

ПРАКТИЧНА РОБОТА 5. Високошвидкісний рухомий склад. Аеродинамічні завдання, які вирішуються при створенні високошвидкісних поїздів

5.1 Мета роботи

Аеродинамічні завдання, які вирішуються при створенні високошвидкісних поїздів полягають у вивченні та розумінні аеродинамічних проблем, що виникають при їх створенні, а також у практичному оволодінні методами та техніками їх розв'язання. Основні цілі роботи полягають у:

- розумінні основних принципів аеродинаміки та їх застосування до високошвидкісних поїздів;
- аналізі аеродинамічних факторів, які впливають на опір повітря та ефективність руху високошвидкісних поїздів;
- вивченні інноваційних технологій та конструкцій, спрямованих на зменшення опору повітря та покращення аеродинамічних характеристик поїздів;
- оволодінні методами моделювання та експериментального аналізу аеродинамічних властивостей високошвидкісних поїздів;
- розробленні та вдосконаленні аеродинамічних рішень для підвищення швидкості, зручності та безпеки високошвидкісних поїздів.

У результаті виконання практичної роботи студенти матимуть можливість поглибити свої знання з аеродинаміки та її застосування до транспортних систем, а також набути навичок у розв'язанні практичних завдань, пов'язаних із створенням високошвидкісних залізничних поїздів.

5.2 Теоретичний матеріал

В останнє десятиліття на залізничному транспорті йшло інтенсивне освоєння швидкостей 250—300 км/год. У Франції, Англії, ФРН, Італії,

Японії було розгорнуто широкі теоретичні та експериментальні дослідження й у напрямі вдосконалення ходових частин тягового приводу.

Із загальних вимог до механічної частини стосовно ВШРС домінуючими стали вимоги безпеки руху та комфорту без зниження техніко-економічної ефективності.

На перший план вийшли проблеми забезпечення динамічної стійкості візка, зменшення реакцій на обурення кінематичного характеру, а також здатність ВШРС довго зберігати свої динамічні характеристики в процесі експлуатації.

Відносно комфорту для пасажирів поряд з необхідністю забезпечити плавність ходу та низький рівень шуму в умовах збурень, що зросли, виникла проблема захисту пасажира від кидка тиску повітря при вході поїзда в тунель і проході зустрічних поїздів.

Для ВШРС особливе значення має ресурсозбереження, що диктує необхідність пошуку досконалих аеродинамічних форм кузова для зниження опору руху, зменшення трудомісткості ремонту. Це досягається шляхом використання ретельно відпрацьованих конструкцій вузлів та технології їх виготовлення.

У зазначених країнах було створено прототипи ВШРС, у яких перевірялися і відпрацьовувалися конструктивні рішення, які забезпечують безпеку руху за умов високих швидкостей. Не всі запропоновані спочатку конструкції виявилися ефективними і життєздатними. Тричі зазнавала істотних змін конструкція моторного візка французького ВШРС TGV; поява італійського швидкісного електропоїзда ETR-500 підготовлена дослідною експлуатацією поїзда ETR-450 на швидкостях до 250 км/год; англійський швидкісний електропоїзд АРТ було відставлено на стадії експлуатаційних випробувань.

У регулярній експлуатації при швидкостях вище 250 км/год знаходяться високошвидкісні поїзди типів TGV-PSE, TGV-A (Франція), ICE (ФРН), в дослідній експлуатації типу ETR-500 (Італія), серії 300 (Японія).

Роботи з освоєння високошвидкісного руху ведуться також у Швеції, Іспанії, США, Австралії, Південній Кореї. У зв'язку з прийняттям країнами ЄС рішення про створення західноєвропейської мережі швидкісних залізниць, найближчими роками очікується інтенсивний розвиток нового рухомого складу зі швидкістю 250—350 км/год.

При проектуванні має оцінюватись ступінь ризику розрахунковим, експериментальним, експертним шляхом або за даними експлуатації аналогічних типів високошвидкісного рухомого складу та його складових частин, залізничних ліній, їх підсистем та складових частин підсистем. Методи оцінювання ступеня ризику можуть бути встановлені в національних стандартах та (або) склепіннях правил.

Безпека ВШРС, залізничних ліній, їх підсистем, складових частин та елементів підсистем з урахуванням ступеня ризику має забезпечуватись багатьма заходами. ВШРС та його складові частини, підсистеми та складові частини підсистем залізничних ліній, елементи складових частин підсистем за міцністю, стійкістю та технічним станом повинні забезпечувати безпечний рух поїздів з найбільшими швидкостями, встановленими відповідним органом виконавчої влади в галузі залізничного.

При проектуванні високошвидкісних залізничних ліній, їх підсистем, складових частин підсистем повинні забезпечуватися вимоги до габариту наближення будівель, умов експлуатації з урахуванням зовнішніх кліматичних, геофізичних і механічних впливів, технічної сумісності з ВШРС.

Вибрані проектувальником конструкції ВШРС та його складових частин, підсистем залізничної лінії та їх складових частин повинні бути безпечні протягом призначеного терміну служби та (або) ресурсу, призначеного терміну зберігання, витримувати дії та навантаження, яким вони можуть піддаватися в процесі експлуатації.

Під час проєктування ВШРС:

- повинні вибиратися рішення, що забезпечують встановлені законодавством країни допустимі рівні небезпечних впливів;

- повинні забезпечуватись вимоги габариту рухомого складу, умов експлуатації з урахуванням зовнішніх кліматичних та механічних впливів, технічної сумісності, у тому числі з інфраструктурою залізничного транспорту;

- повинні використовуватися технічні рішення, які забезпечують такі вимоги;

- повинні передбачатися енергопоглинаючі пристрої для захисту пасажирів та обслуговуючого персоналу у разі зіткнення залізничного рухомого складу;

- повинні використовуватись програмні засоби, що забезпечують безпеку функціонування високошвидкісного залізничного транспорту та його складових частин.

При внесенні змін до конструкції ВШРС та його складових частин не повинні бути знижені встановлені під час проєктування вимоги безпеки відповідно до розробленого технічного регламенту. У разі внесення змін до конструкції чи технології виготовлення об'єктів високошвидкісного залізничного транспорту, що впливають на виконання вимог безпеки, а також при модернізації з продовженням терміну служби, повинна бути проведена обов'язкова сертифікація або декларування відповідності у порядку, встановленому в технічному регламенті.

Електромагнітні перешкоди, що створюються складовими частинами та елементами підсистем залізничної лінії при їх функціонуванні, не повинні перевищувати рівнів, що забезпечують функціонування інших елементів та складових частин підсистем залізничної лінії та експлуатованого на цій лінії ВШРС.

Питання та завдання для самоконтролю

Питання для самоконтролю:

- 1 Які основні аеродинамічні проблеми виникають при створенні високошвидкісних поїздів?
- 2 Як впливає опір повітря на швидкість та ефективність руху високошвидкісних поїздів?
- 3 Які інноваційні технології використовуються для зменшення опору повітря та покращення аеродинамічних характеристик поїздів?
- 4 Які методи моделювання використовуються для аналізу аеродинамічних властивостей високошвидкісних поїздів?
- 5 Які аеродинамічні рішення сприяють підвищенню швидкості, зручності та безпеці високошвидкісних поїздів?

Завдання для самоконтролю:

- 1 Проаналізувати аеродинамічні особливості одного з високошвидкісних поїздів із зазначенням методів, що використовуються для зменшення опору повітря.
- 2 Провести дослідження ефективності різних аеродинамічних конструкцій для покращення аеродинамічних характеристик високошвидкісних поїздів.
- 3 Скласти список інноваційних технологій, що застосовуються в сучасних високошвидкісних поїздах для зменшення опору повітря та підвищення швидкості.
- 4 Розробити модель аеродинамічних властивостей високошвидкісного поїзда за допомогою відповідного програмного забезпечення.
- 5 Підготувати презентацію, де будуть представлені результати досліджень та аналізу аеродинамічних аспектів високошвидкісного рухомого складу.

ПРАКТИЧНА РОБОТА 6. Потяги на магнітній подушці, левітація та гіперлуп

6.1 Мета роботи

Основною метою роботи є:

- дослідження принципів роботи потягів на магнітній подушці та їх використання для левітації;
- ознайомлення з технологією гіперлуп та його потенційними перевагами порівняно з традиційними залізничними системами;
- вивчення та аналіз принципів роботи гіперлупу та його можливих застосувань у сучасному транспорті;
- розуміння принципів магнітної левітації та її впливу на швидкість та безпеку руху транспортних засобів;
- вивчення історії розвитку технологій магнітної левітації та гіперлупу;
- аналіз технічних характеристик та особливостей використання магнітної подушки в різних системах швидкісного транспорту;
- розгляд можливостей впровадження гіперлупу в різних регіонах та умовах експлуатації;
- обговорення переваг та недоліків використання технологій магнітної левітації та гіперлупу з точки зору ефективності, економічної доцільності та екологічної безпеки.

6.2 Теоретичні відомості

Перші сторінки історії Maglev заповнені численними патентами, виданими в різних країнах на початку ХХ-го століття: в 1902 році німецький винахідник Альфред Зайден отримав патент на конструкцію поїзда з лінійним двигуном. Чотири роки по тому Франклін Скотт Сміт розробив ранній прототип поїзда на електромагнітній підвісці. Трохи пізніше, між

1937 і 1941 роками, німецький інженер Герман Кемпер отримав ще кілька патентів на поїзди з лінійними двигунами.

Наприкінці 1960-х років дослідники перейшли від слів до справи. Британський інженер Ерік Лейтвейт, відомий багатьом як «батько маглева», зумів розробити перший практичний повномасштабний прототип лінійного асинхронного двигуна.

Перша комерційна залізниця на магнітній подушці з'явилася в Бірмінгемі, Великобританія, в 1984 році. Потяг на магнітній подушці з'єднав термінал міжнародного аеропорту Бірмінгема з прилеглою залізничною станцією і успішно експлуатувався з 1984 по 1995 рік. Довжина лінії становила лише 600 метрів, а висота, на яку потяг з лінійним двигуном піднімався над дорожнім полотном, - 15 міліметрів; у 2003 році її замінила Airrail Link – пасажирська транспортна система, заснована на технології кабельного лайнера.

У 1980-х роках проєкти з розроблення та комерціалізації високошвидкісних залізниць на магнітному осерді були ініційовані не лише у Великобританії та Німеччині, а й в Японії, Південній Кореї, Китаї та США.

Механізм

Основні властивості магнітів вивчали на шкільних уроках фізики. У дитинстві всі гралися з магнітами-кільцями-динаміками. Якщо покласти північний полюс постійного магніту близько до північного полюса іншого магніту, вони відштовхуються. Переверніть один магніт, і вони притягуються один до одного. Цей простий принцип лежить в основі залізниць на магнітній подушці, які літають над коліями на невеликих відстанях.

Технологія магнітного підвісу базується на трьох основних підсистемах: левітації, стабілізації та прискоренні. Водночас, наразі існує дві основні технології магнітного підвісу та експериментальна технологія, яка була продемонстрована лише на папері.

Поїзди на основі технології електромагнітної підвіски (EMS) використовують регульовані електромагніти постійного струму для левітації. Практичне застосування цієї системи схоже на звичайний залізничний транспорт, але замість колісної пари використовується система електромагнітів – опорних і напрямних. Опорні і направляючі магніти взаємодіють з магнітопроводом в кінці T-подібної колії; основним недоліком технології EMS є те, що відстань між базовим магнітом і статором становить всього 15 мм і повинна контролюватися спеціальною високошвидкісною автоматичною системою контролю повітряного зазору. Трансрапідні поїзди, особливо Шанхайський Маглев, базуються на технології EMS. Потяги на основі технології EMS приводяться в рух і гальмуються звичайним статором (нерухомою частиною лінійного двигуна), лінійний двигун, який розташований уздовж дна колії, а підтримуючі електромагніти виконують роль ротора цього двигуна. Таким чином, замість того, щоб створювати крутний момент, змінний струм в котушці генерує біжуче електромагнітне поле, яке безконтактно переміщує поїзд. Змінюючи силу і частоту змінного струму, можна регулювати силу тяги і швидкість руху поїзда.

У випадку технології електродинамічної підвіски (EDS) левітація досягається за рахунок взаємодії між магнітним полем, що генерується надпровідними магнітами в поїзді, і струмопровідним полотном. Японські потяги JR Maglev засновані на технології EDS, але на відміну від технології EMS, яка використовує звичайні електромагніти і безперервне джерело живлення, надпровідні електромагніти дозволяють струму текти навіть при перериванні електропостачання. Однак криогенні системи охолодження для підтримки наднизької температури котушок значно дорожчі.

Основною перевагою системи EDS є її висока стабільність. Зменшення відстані між полотном і магнітом створює силу відштовхування, яка повертає магніт у вихідне положення, а збільшення відстані зменшує

силу відштовхування, таким чином стабілізуючи систему. У цьому випадку немає необхідності в електроніці для контролю і регулювання відстані між потягом і полотном.

У той же час, сили, достатні для левітації поїзда, виникають тільки на високих швидкостях. Тому поїзди EDS повинні бути оснащені колесами, які можуть рухатися на низьких швидкостях (до 100 км/год).

Варто також зазначити, що в пасажирській секції повинні бути встановлені магнітні екрани через сильні магнітні поля, що генеруються. За відсутності магнітного екрану поїздка в таких транспортних засобах проти-показана пасажирам з електронними стимуляторами серця або магнітними носіями інформації (жорсткими дисками або кредитними картками).

Третьою технологією, що наближається до комерціалізації, але існує лише на папері, є варіант ЕЦП з використанням постійних магнітів Inductrac. Донедавна дослідники вважали, що постійні магніти не мають достатньої потужності, щоб левітувати потяг. Однак ця проблема була вирішена шляхом розміщення магнітів у так званому «масиві Гальбаха». Ці магніти розташовані таким чином, що магнітне поле генерується вище, а не нижче масиву, що дозволяє поїзду левітувати на дуже низьких швидкостях – близько 5 км/год. Однак вартість такого масиву постійних магнітів дуже висока, і поки що не існує жодного комерційного проєкту такого роду.

Ще одним новим напрямком високошвидкісного наземного транспорту є вакуумний транспорт, що поєднує лінійний електропривод і магнітну амортизацію, так звана система Hyperloop, яка впроваджується з 2012 року за підтримки американського інвестора Ілона Маска.

Наразі Hyperloop реалізується в США і перебуває на стадії науково-дослідних робіт і тестування експериментальних зразків. Відповідно до початкового проєкту, капсула, яка переміщається в трубі, буде знаходитися на повітряній подушці і зможе підніматися для ковзання над поверхнею траси. Щоб подолати опір повітря, який є серйозною перешкодою для

капсул, що рухаються зі швидкістю звуку, розробники Hyperloop вбудували в передню частину транспортного засобу каналний вентилятор, повітряний компресор і систему повітропроводів. Мета цих пристроїв – перемістити потік повітря від передньої частини капсули до задньої. Крім того, труби тримаються під тиском, щоб зменшити опір повітря. В результаті автомобіль-капсула рухається по трубах, які ущільнюються під дією різниці тисків. Перед капсулою з пасажирами створюється майже вакуум, що фактично означає, що капсулу засмоктує в трубу. Оскільки капсула рухається не в повному вакуумі, потоки повітря, що набігають, все одно мають вплив. Тому, на додаток до її обтічної форми, в носовій частині капсули планується встановити вентилятор, який розподілятиме повітряний потік і підтримуватиме капсулу, створюючи повітряну подушку, щоб вона могла летіти, не торкаючись поверхні. В результаті капсула Hyperloop буде рухатися по трубі з орієнтовною швидкістю 500-1200 км/год (еквівалент швидкості звуку), залежно від рельєфу місцевості і близькості до вигинів.

Однак пізніше в ході розробки проекту була розроблена ідея використання магнітної левітації, яка використовує магнітне поле для підтримки зазору між корпусом капсули і треком. Перші прототипи, що використовують магнітну левітацію, вже пройшли випробування. Наприклад, у розробці Університету Цинциннаті (США) електродинамічну підвіску капсули забезпечують вісім магнітів, що обертаються з високою швидкістю. Іншою рушійною силою капсули має бути лінійний асинхронний двигун, від якого вона отримує імпульси прискорення і, навпаки, гальмування. Статор лінійного двигуна закріплений в трубі, а ротор, у вигляді індукційної котушки, закріплений на дні капсули. Магнітне поле, створене між ними, прискорює капсулу.

Таким чином, капсула запускається на початку свого руху і неодноразово імпульсується під час руху. Не обов'язково прокладати статор вздовж усього маршруту, достатньо 15-метрової секції двигуна приблизно

через кожні 100 метрів. Лінійні двигуни також використовуються для зупинки гіперпетлі.

Для живлення двигунів на трубах будуть встановлені сонячні панелі. Крім того, при гальмуванні капсули кінетична енергія перетворюється на електричну за допомогою лінійних двигунів.

Питання та завдання для самоконтролю

Питання для самоконтролю:

- 1 Що таке потяг на магнітній подушці і як він працює?
- 2 Які переваги мають потяги на магнітній подушці порівняно з традиційними залізничними системами?
- 3 Що таке левітація і як вона застосовується в потягах на магнітній подушці?
- 4 Які технології використовуються для створення гіперлупів, і як вони працюють?
- 5 Які можливі переваги має гіперлуп порівняно з іншими транспортними системами?
- 6 Які виклики і перешкоди можуть виникнути при впровадженні потягів на магнітній подушці та гіперлупів?
- 7 Які країни вже використовують або планують використовувати технології магнітної левітації та гіперлупів?
- 8 Які можливі перспективи розвитку та використання потягів на магнітній подушці та гіперлупів?

Завдання для самоконтролю:

- 1 Порівняйте швидкість та ефективність руху потягів на магнітній подушці з традиційними залізничними системами.

2 Напишіть короткий огляд історії розвитку технологій магнітної левітації та гіперлупу.

3 Проаналізуйте можливі переваги та недоліки використання гіперлупу порівняно з автомобільними або авіаційними транспортними системами.

4 Дослідіть технічні характеристики одного з поточних проєктів гіперлупу та зробіть висновки щодо його можливостей та перспектив.

5 Порівняйте вплив технологій магнітної левітації на довкілля з іншими видами транспорту та зробіть висновки щодо екологічної безпеки.

ПРАКТИЧНА РОБОТА 7. Колія для високошвидкісних магістралей

7.1 Мета роботи

Основна мета даної практичної роботи полягає у вивченні основних елементів колії та їх функцій у системі високошвидкісного руху. Набуття здобувачами вищої освіти здатності проводити аналіз вимог до якості та параметрів колійної конструкції для забезпечення безпеки та ефективності високошвидкісного руху. Розгляд впливу різних факторів (навантаження, швидкість, кліматичні умови тощо) на експлуатацію та утримання колійної інфраструктури. Огляд сучасних технологій та методів підтримки колійного господарства для високошвидкісних магістралей.

Визначення можливостей та перспектив подальшого розвитку колійної інфраструктури для оптимізації високошвидкісного руху.

Отримані результати допоможуть у вдосконаленні процесів проєктування, будівництва та експлуатації високошвидкісних магістралей з урахуванням вимог до колійної інфраструктури.

7.2 Теоретичні відомості

До земляного полотна високошвидкісних залізниць ставляться підвищені вимоги з погляду його міцності, стабільності, мінімальної деформованості та довговічності.

Розміри поперечного перерізу земляного полотна а, отже, обсяги земляних робіт при будівництві ВШМ, багато в чому визначаються відстанню між осями головних шляхів (міжшляхом). З метою зниження аеродинамічного впливу один на одного зустрічних поїздів відстань між осями головних шляхів на ВШМ збільшують. На звичайних залізницях воно становить близько 4 м, а на ВШМ приймається рівним 4,7-4,8 м (в різних країнах). При цьому ширина основного майданчика досягає 13 м і більше.

Земляне полотно високошвидкісних залізниць влаштовується у вигляді насипів або виїмок і включає захисні шари, основне тіло і водовідвідні споруди. Для спорудження земляного полотна на ВСМ застосовують скельні, уламкові та щебеневі ґрунти. До кращих скельних ґрунтів відносяться граніти, діорити, базальти та порфірити. Крім зазначених, можна застосовувати глинисті ґрунти твердої та напівтвердої консистенції та піщані.

Пружне осадження основного майданчика земляного полотна під дією рухомого навантаження не повинно перевищувати 1,5 мм. Не допускається деформація підстави баластної призми внаслідок морозного пучення і сезонних змін, викликаних кліматичними факторами: відтавання – промерзання, зволоження – висихання і т. д.

Технічні вимоги до надійної роботи полотна ВШМ забезпечуються високою якістю будівельних робіт, зокрема, обов'язковим пошаровим відсипанням і ущільненням ґрунту по всій ширині земляного полотна, а також постійним контролем якості робіт.

Спорудження земляного полотна ВШМ здійснюється із застосуванням сучасних будівельних і дорожніх машин. Так, у комплект

машин, у складі підрозділів, що здійснюють відсіпання земляного полотна при будівництві ВСМ, входять бульдозери різної потужності, скрепери, кар'єрні самоскиди та тягачі з автопричепами-самоскидами, грейдери, ковзанки, включаючи вібраційні, екскаватори і механічні лопати.

На межі ґрунтів тіла земляного полотна і захисного шару влаштовується геотекстиль – тканий або нетканий водонепроникний синтетичний матеріал з поліестеру або поліпропілену, скріплений механічним, термічним та іншими способами, який добре пропускає воду, але не пропускає дрібні частинки ґрунту. Геотекстиль не схильний до гниття, впливу грибків і плісняви, гризунів і комах, проростання коренів. Ідеальний як армуючий, розділяючий шар, широко застосовується у водовідведенні та дренажних системах. Термін служби щонайменше 25 років. Матеріал забезпечує розподіл ґрунтів земляного полотна і захисного шару і покращує дренажування води. Для збільшення несучої здатності ґрунтів земляного полотна можливе укладання двох шарів геотекстилю, а також комбінація геотекстилю з геосіткою або геоосередком. Геосітка – рулонний сітчастий матеріал з полімерних або синтетичних ниток, покритих захисним шаром, з однаковими отворами розміром від 2,5 до 40 мм. Геоосередок – об'ємна стільникова конструкція з полімерних або синтетичних стрічок, скріплених між собою в шаховому порядку. У робочому стані утворює модульну комірчасту конструкцію. Матеріали не схильні до гниття, впливу кислот, лугів. Термін служби щонайменше 50 років. Використовуються в комбінації з іншими геоматеріалами. Якщо під насипом залягають слабкі ґрунти, то (при потужності їх до 0,4 м) вони видаляються і замінюються міцними ґрунтами. При неможливості видалення слабких ґрунтів можуть бути передбачені заходи, що забезпечують запобігання осідання ґрунту в експлуатаційний період, наприклад устрій пальово-ростверкової основи. Як крайній захід — заміна насипу естакадою.

На ВШМ застосовуються рейки з погонною масою не менше 60 кг, зварені між собою (безстиківий шлях) в довгі і наддовгі батогини.

На ВШМ застосовують безстиківий шлях температурно-напруженого типу, що не вимагає розрядки температурних напружень. Зварювання рейок у батозі (як правило, довжиною не менше 800 м) здійснюється електроконтактним способом на рейко-зварювальних підприємствах з ретельним багаторівневим контролем якості зварних швів. Довгомірні батогини доставляють до місця укладання в дорогу поїздами зі спеціальних платформ.

Конструкція верхньої будови колії на баласті на ВШМ

У даний час на високошвидкісних залізницях застосовуються дві конструкції верхньої будови колії: рейкова решітка із залізобетонними шпалами, укладена на баласт, і залізобетонна підрейкова основа.

При традиційному типі підрейкової основи з використанням баласту рейки укладаються на залізобетонні шпали.

Рейкові решітки влаштовуються на баластовий шар товщиною 35-40 см з щебеню (граніт, базальт, діабаз) з розміром фракцій 25-60 мм.

Основні переваги конструкції шляху на баласті полягають у такому:

- відносно низькі витрати на будівництво;
- велика пружність;
- висока ремонтпридатність при відносно низьких витратах;
- добре поглинання шуму, що генерується рухомим складом.

Однак такий шлях має й недоліки:

- з часом у баластній призмі накопичуються залишкові деформації у вертикальній та горизонтальній площинах, причому відбувається це інтенсивніше, ніж у конструкціях шляху з монолітною основою;

- менше, ніж при монолітному ґрунті, поздовжній і бічний опір переміщенню під дією сил взаємодії шляху і рухомого складу і температурних сил розтягування і стиснення;

- підйом частинок баласту при високих швидкостях (вертикальні і горизонтальні переміщення на десятки сантиметрів частинок баласту під дією вібрацій; повітряної ударної хвилі, від поїзда, що проходить; ударів від падіння змерзлих шматків снігу і льоду в зимовий час), що може викликати серйозні пошкодження рейок, пристроїв та приладів СЦБ, коліс та інших елементів ходової частини, кузова рухомого складу;

- зменшення водопроникності баласту в процесі служби, що викликається його забрудненням, включенням продуктів стирання баласту та за рахунок інфільтрації дрібних частинок ґрунту з тіла земляного полотна;

- наявність баластної призми призводить до збільшення діаметра тунелів і вимагає пристрою більш високих платформ для посадки і висадки пасажирів з вагонів.

З метою запобігання підйому баласту під впливом вібрації, аеродинамічних та інших ударів, практикують використання покриття баластної призми матами з гуми, пластику, в'язкими матеріалами, металевою сіткою.

На високошвидкісних лініях виникають складніші, ніж при звичайних швидкостях, процеси взаємодії колії та рухомого складу. У зоні контакту колеса і рейки за наявності нерівностей утворюються високочастотні коливання (до 5000 Гц), які передаються на підрейкову основу і викликають її розлади, зокрема відбувається інтенсивне стирання баласту. Довгі нерівності (20-50 м і більше) збуджують низькочастотні коливання (приблизно 1 Гц), проявляються резонансні явища в рухомому складі, що також погіршує процеси взаємодії. Істотна роль в забезпеченні стабільності шляху належить баластному шару. Крім цього, від товщини баластного шару залежить еластичність всієї конструкції шляху.

Шпали укладаються на шар щебеню товщиною 35-40 см, як правило, що складається з фракцій 25-60 мм. Під щебенем влаштовується подушка товщиною не менше 15 см з піщано-гравійної суміші або щебню фракції 5-25 мм. Замість подушки може бути покладений захисний шар із полімерних матеріалів. Плече баластної призми повинно бути не менше, ніж 45 см.

Особливістю влаштування баластових призм на ВШМ є обов'язкове укладання, крім підбаластного шару, захисного шару або геоматеріалів. Захисний шар виконує дві функції: по-перше, зачищає баласт від забруднення частинками ґрунту від земляного полотна і, по-друге, запобігає морозному пученню шарів земляного полотна, що знаходяться нижче. Захисний шар укладають з непучинистих дренажних ґрунтів (великообломочних з піщаним заповнювачем, пісків – гравістичних великих і середньої крупності). Товщина шару визначається розрахунками, в тому числі теплотехнічним, і повинна бути не менше 0,8-1,0 м для суглинків і глин і 0,5-0,7 м – для супісків. Коефіцієнт ущільнення не менше 1,0 для насипів і не менше 0,98 для виїмок.

Під захисний шар у необхідних випадках укладають теплоізолюючий матеріал (пінополістирол), а поверхня неукріплених глинистих ґрунтів вкривають геотекстилем і гідроізоляційними плівками по всій ширині земляного полотна. Укоси та узбіччя захисного шару, відсипаного з пісків, зміцнюють гравієм або щебнем завтовшки 0,15 м від видування та розмиву.

Для збільшення несучої здатності основного майданчика земляного полотна на європейських залізницях, у ряді випадків, під баластом влаштовують водонепроникний шар асфальту товщиною 5-8 см, для забезпечення рівномірного розподілу навантажень товщину збільшують до 15-20 див. Іноді застосовують ґрунтобетонні подушки.

При будівництві ВШМ використовують механізовані технології укладання баластного шару спеціальними машинами для рівномірного розподілу шару по поверхні основного майданчика земляного полотна, при постійному контролі його товщини.

На баластному шарі розміщують підрейкову основу, найчастіше у вигляді залізобетонних шпал. Шпали можуть бути типові стандартні у вигляді цільнобрускових конструкцій (масою порядку 250 кг), спеціальні посилені шпали зі збільшеними розмірами опорних частин (масою 300-400 кг) і двоблочні шпали.

Питання та завдання для самоконтролю

Питання для самоконтролю:

- 1 Які основні вимоги до колії для високошвидкісних магістралей?
- 2 Які фактори можуть впливати на безпеку та ефективність колійного господарства для високошвидкісних поїздів?
- 3 Які основні елементи складають колійну конструкцію?
- 4 Які технології використовуються для підтримки та утримання колійного господарства?
- 5 Які переваги має система моніторингу та діагностики стану колії?
- 6 Які можливості для оптимізації роботи колійного господарства високошвидкісних магістралей ви бачите?
- 7 Які технічні рішення можуть бути використані для зменшення впливу навантаження на колію?
- 8 Які принципи побудови оптимальної колійної інфраструктури для високошвидкісних магістралей?

Завдання для самоконтролю:

- 1 Проаналізуйте технічні характеристики колії для високошвидкісних магістралей та порівняйте їх зі стандартними колійними системами.
- 2 Вивчіть регламенти та процедури з обслуговування та ремонту колійної інфраструктури для високошвидкісних магістралей.
- 3 Проведіть аналіз впливу швидкості руху на стан колії та запропонуйте можливі заходи для мінімізації ризиків.
- 4 Розробіть план профілактичного обслуговування колійного господарства високошвидкісних магістралей.
- 5 Підготуйте презентацію про інноваційні технології управління та підтримки колійного господарства для високошвидкісних магістралей.

ПРАКТИЧНА РОБОТА 8. Системи енергопостачання для високошвидкісних магістралей

8.1 Мета роботи

Мета виконання практичної роботи полягає в осмисленні та поглибленому вивченні принципів та технологій, що лежать в основі енергопостачання високошвидкісних залізничних магістралей. Студентам надається можливість ознайомитися з сучасними технологіями та системами електропостачання, що застосовуються для забезпечення ефективного функціонування високошвидкісних поїздів та магістралей. Робота передбачає аналіз різних аспектів систем енергопостачання, їх переваг та недоліків, а також дослідження можливостей їх вдосконалення та оптимізації з метою підвищення ефективності та надійності енергопостачання високошвидкісних магістралей.

8.2 Теоретичні відомості

Подолання сили опору руху поїзда, що залежить від тертя кочення, аеродинамічних навантажень, ухилу шляху, досягається тяговими засобами. Рушійні осі рухомого складу пов'язані з електричними двигунами механічною передачею обертового моменту. Тягові двигуни отримують живлення від генераторів електричних станцій за допомогою пристроїв зовнішнього та внутрішнього (тягового) електропостачання.

На лініях залізниць з максимальною швидкістю до 160 км/год (традиційні залізниці) питома потужність електроспоживання становить приблизно 300—500 кВт/км щодо одного напрямку. Характер електротягового навантаження таких ліній може бути описаний випадковою функцією, що підпорядковується гіпотезі нормального (Гауссова) розподілу. Вибір окремих пристроїв тягового електропостачання за потужністю навантаження з урахуванням допустимого нагрівання

струмопровідних елементів здійснюється, виходячи з максимальних значень струмових навантажень, протягом певного часового інтервалу.

Високошвидкісні залізниці з максимальною швидкістю 250 км/год і більше, підвищеною пропускною здатністю з розрахунковими інтервалами попутного прямування 3-15 хв і потужністю електроспоживання одного поїзда 10-18 МВт мають інший характер електротягового навантаження. Для таких ліній характерне імпульсне навантаження як для пристроїв електротягової мережі, так і для перетворювального електрообладнання тягових підстанцій. У системі електропостачання зростають пікові навантаження на тягові підстанції, збільшуються втрати напруги та енергії в пристроях тягового електропостачання, ускладнюється струмознімання; збільшується нагрівання проводів контактної мережі, підвищуються вимоги до вибіркості релейних захистів в аварійних режимах.

Для високошвидкісних ліній питома потужність електроспоживання може досягати 1,0-2,5 МВт/км. За будь-якого збільшення швидкості понад 160 км/год потрібна електротягова потужність значно зростає.

Вона залежить від багатьох факторів, основними з яких є маса поїзда, швидкість руху, опір руху; інтервали між поїздами; частота торкань і розгонів; застосування рекуперативного гальмування; план і профіль шляху, аеродинамічний опір; характеристики мережі тягового електропостачання.

Достовірний розрахунок системи електропостачання є складним завданням. Найбільш точні результати при проектуванні високошвидкісних ліній отримують методом математичного моделювання.

Залежно від роду струму в електротяговій мережі розрізняють системи електричної тяги постійного та змінного струму. Електричні залізниці класифікують також залежно від рівня напруги в контактній мережі, від частоти та числа фаз змінного струму.

Система електричної тяги трифазного струму застосовувалася Італією початку ХХ століття. Через складність контактної мережі та струмоприймачів така система не отримала подальшого розвитку.

Застосування електричної тяги однофазного струму почалося зі змінного струму зниженої частоти 162/3 Гц напругою 15 кВ на залізницях Німеччини, Австрії, Швейцарії, Швеції. Система електричної тяги однофазного струму зниженої частоти дозволила забезпечити пряме живлення колекторних тягових двигунів однофазного струму змінним струмом без перетворення на постійний струм.

Сучасний електрорухомий склад оснащується безколекторним тяговим приводом трифазного струму з однофазно-трифазними перетворювачами частоти з проміжним контуром постійного струму. Завдяки цьому немає необхідності застосування системи тягового електропостачання змінного струму зниженої частоти. Проте діючі електрифіковані лінії не підлягають терміновому переведення на іншу систему струму внаслідок значних витрат на реконструкцію системи тягового електропостачання. Тому система електричної тяги однофазного струму зниженої частоти 162/3 Гц продовжує застосовуватися на ряді сучасних залізниць світу.

Більш широкий розвиток нині знаходить система електричної тяги однофазного струму стандартної частоти 50(60) і стандартного напруги 25 кВ. Головна перевага системи однофазного струму 25 кВ, 50 (60) Гц полягає в підвищеній напрузі і, при тій же потужності електроспоживання, зменшених струмових навантажень контактної мережі. Це зумовлює зниження перерізу проводів контактних мереж, можливість збільшення відстані між тяговими підстанціями, зменшення втрат енергії у пристроях електропостачання. Така система забезпечує високу пропускну і провізну здатність електрифікованих ліній.

Високошвидкісні лінії у світі переважно електрифіковані за системою однофазного струму 25 кВ, 50 (60) Гц. Для найбільш навантажених ліній застосовується система 2х25 кВ. Є досвід застосування однофазного струму напругою 50 кВ (Південно-Африканська республіка).

Вимоги до пристроїв електропостачання високошвидкісних ліній

Для залізниць зі швидкістю руху до 160 км/год характер електротягового навантаження підпорядковується закону нормального (Гауссова) розподілу. Вибір засобів електротягової мережі здійснюється, виходячи з максимальних значень струмових навантажень протягом часу циклу графіка руху поїздів.

Високошвидкісні залізниці і залізниці з інтенсивним рухом, підвищеною пропускною здатністю, з невеликими інтервалами (3-15 хв) між поїздами і споживаною потужністю 10-18 МВт і більше мають інший характер електротягового навантаження.

Для таких ліній характерне імпульсне навантаження, як для проводів електротягової мережі, так і для перетворювачів та комутаційних апаратів тягових підстанцій, постів секціонування, інших лінійних пристроїв. При цьому зростають пікові навантаження на тягові підстанції, збільшуються втрати напруги та енергії в пристроях тягового електропостачання, ускладнюються умови струмознімання і підвищується нагрівання проводів контактної мережі.

Питома потужність електроспоживання високошвидкісних ліній становить 1,3 МВт/км, а для залізничних двоколієних ліній з підвищеною пропускною здатністю може досягати 1,7-2,5 МВт/км. За нормами Міжнародного союзу залізниць (МСЗ), розробленим в 1996 р., для двоколієної високошвидкісної лінії з максимальною швидкістю 300-350 км/год передбачається максимальна питома потужність споживання електроенергії на тягу 3 МВт/км. Потужність пристроїв тягового електропостачання рекомендується приймати, виходячи із зазначеної питомої потужності електроспоживання.

Потрібна електротягова потужність залежить від багатьох факторів, основними з яких є маса поїзда, швидкість руху, основний опір руху, інтервали між поїздами, частота торкань і розгонів, можливість рекуперативного гальмування, план і профіль шляху, характеристики мережі тягового електропостачання. Визначення параметрів електротягової мережі є складним завданням, вирішення якого з необхідною точністю досягається сучасним методом фізико-математичного моделювання процесу високошвидкісного руху поїздів.

Швидкість руху поїзда безпосередньо залежить від рівня напруги у струмоприймачів електрорухомого складу. На російських залізницях для ліній зі швидкістю руху до 160 км/год у нормальному режимі правилами встановлено найменшу напругу на струмоприймачі на будь-якій ділянці не нижче 2,7 кВ для системи постійного струму та 21 кВ при змінному струмі. Зниження напруги від номінальних значень відповідно 3,0 кВ і 25 кВ до мінімально допустимих рівнів призводить до втрати потужності електрорухомого складу на 15 % і до зменшення середньої технічної швидкості на 7-8 %. Для забезпечення необхідної якості електричного живлення при переведенні електрифікованих ліній на швидкісний рух здійснюється посилення пристроїв тягового електропостачання, в результаті якого найменша напруга в нормальному режимі при швидкості руху понад 160 км/год має бути не нижче 2,9 кВ на постійному струмі та 24 кВ на змінному струмі.

Способи посилення системи тягового електропостачання

Основними способами посилення тягового електропостачання є:

- підвищення рівня напруги в електротяговій мережі шляхом переведення електрифікованої лінії на систему електричної тяги однофазного струму напругою 25 кВ;

- у перспективі, підвищенням рівня напруги в контактній мережі постійного струму до 18-24 кВ і створенням електрорухомого складу постійного струму високої напруги;

- застосування системи розподіленого живлення електротягової мережі з поздовжніми лініями високої напруги на змінному струмі – система 2 x 25 кВ з автотрансформаторними пунктами;

- застосування коаксіального кабелю;

- система з лінійними перетворювальними пунктами живлення контактної мережі від поздовжньої високовольтної лінії електропередачі.

При посиленні тягового електропостачання також використовується:

- автоматична підтримка напруги у струмоприймачів за рахунок регулювання напруги на шинах тягових підстанцій;

- монтаж підсилювальних проводів контактної підвіски та збільшення перерізу контактних проводів;

- застосування схем живлення контактної мережі з постом секціонування і пунктами паралельного з'єднання контактних підвісок обох шляхів;

- спорудження на міжпідстанційних зонах додаткових тягових підстанцій або пунктів живлення;

- збільшення потужності тягових підстанцій і зменшення довжини міжпідстанційних зон;

- посилення зовнішнього електропостачання та обмеження відхилень рівня напруги на вводах тягових підстанцій.

Ефект від застосування окремих заходів різний і, як правило, є недостатнім. Посилення тягового електропостачання конкретної лінії для досягнення необхідних показників якості електропостачання високошвидкісних поїздів виконується при комплексному застосуванні заходів. Поряд з технічними заходами, зниження втрат напруги в тяговій мережі може бути досягнуто за рахунок раціональної організації руху. Наприклад, введенням пакетного графіка руху швидкісних поїздів з інтервалами між ними, рівними часу ходу найбільш довгою ділянкою між тяговими підстанціями, що забезпечує перебування на кожній міжпідстанційній зоні тільки одного поїзда.

Електрифіковані ВШМ Японії, Франції, Іспанії, Італії та інших країн побудовані із застосуванням нових технологій електропостачання високошвидкісних поїздів, що забезпечують виконання зазначених вище вимог.

У Японії система електропостачання високошвидкісних ліній Синкансен включає зовнішнє електропостачання від державних електромереж і тягове електропостачання. Споживання електроенергії поїздами ВШМ значно вище порівняно зі звичайним електрорухомим складом.

Так, під час руху високошвидкісного поїзда серії 300 питома витрата електроенергії становить 42 Вт-ч/т-км проти 28 Вт-ч/т-км для швидкісних поїздів на звичайних лініях.

Електроенергія від електростанцій передається по трифазним високовольтним лініям електропередачі напругою 77, 154, 220 та 275 кВ. На тягових підстанціях встановлюються основні трансформатори. Напруга знижується до 25 кВ і через вимикачі по лініях живлення подається в контактну мережу.

Так як струми поїздів являють велике однофазне навантаження, то безпосереднє їх підключення до трифазної мережі зовнішнього електропостачання створює значну асиметрію струмів по фазах, несприятливу для нормальної її роботи, і викликає додаткові втрати електроенергії. Для усунення асиметрії на тягових підстанціях доводиться застосовувати спеціальні трансформатори, які перетворюють трифазний струм у двофазний (кожна фаза призначена для свого тягового плеча). Використовуються трансформатори за схемою Скотта та за модифікованою схемою Вудбріджа.

У схемі Скотта є два однофазних трансформатора T_1 T_2 з напругою вторинних обмоток 25 кВ.

У схемі Вудбріджа, розробленій для спрощення ізоляції трансформатора, первинні обмотки трьох однофазних трансформаторів з'єднуються за схемою «зірка» із заземленою нульовою точкою. Вторинні обмотки з'єднуються за схемою «трикутник», утворюючи два ланцюги живлення. При спрощеній конструкції трансформатора та рівності числа витків всіх вторинних обмоток напруга у вихідний ланцюга ВВ' дорівнює $1/\sqrt{3}$ напруги іншого ланцюга АА'. За допомогою автотрансформатора АТІ напруга підвищується до рівня напруги між крапками АА'. Обидва ланцюги зміщені фазою на 90 ел. град., тому в місцях сполучення секцій контактної мережі передбачаються нейтральні вставки, які поїзди зазвичай проходять з вимкненими тяговими двигунами (за інерцією).

На японських лініях Сінкансен не допускається перерви в електропостачанні, для чого передбачаються пристрої автоматичного перемикачів, що спрацьовують при переході поїзда з однієї секції контактної мережі на іншу. Такі пункти секціонування (ПС) мають перемикачі 1 і 2, які підключають нейтральну вставку до лівої, а потім до правої секції контактної мережі в міру проходження струмоприймача поїзда відповідних ізолюючих сполучень.

Для зниження впливу на суміжні лінії зв'язку шляхом зменшення зворотного струму, що замикається як по рейковій мережі, так і по землі, застосовуються трансформатори, що відсмоктують (ВІД) з коефіцієнтом трансформації 1:1 та зворотний провід (ВП). При такій схемі забезпечується повернення блукаючих струмів витоку в лінію, що відсмоктує. Підключення ВІД потужністю 240 кВА до сусідніх секцій контактної підвіски, розділених повітряними проміжками, здійснюється через 3 км. При великих тягових струмах під час проходження струмоприймача виникає сильний дуговий розряд і з'являється загроза перепалу контактного проводу, що викликало необхідність ускладнення контактної мережі за рахунок включення резисторів для зниження інтенсивності розрядів.

На нових ВСМ Японії застосовується розподілена схема живлення 2х25 кВ з автотрансформаторами АТ2 потужністю 10 МВ-А, що встановлюються через 10 км. При цьому передача енергії до поїздів забезпечується контактними (КП) і живильними (ПП) проводами на підвищеній напрузі 50 кВ, що обмежує струми витoku, знижує втрати напруги, дозволяє збільшити відстань між тяговими підстанціями до 50 км, тоді як за звичайної схемою лінії Синкансен воно становить 20 км. Потужність головних трансформаторів підстанцій у системі з трансформаторами, що відсмоктують, досягає 2х30 МВ-А, а системі з автотрансформаторами 2х(100—150) МВ-А.

Новим напрямом посилення тягового електропостачання ВСМ у Японії є застосування високовольтного коаксіального кабелю.

Внутрішній провідник кабелю електрично з'єднується з контактним проводом і збільшує перетин дроту контактної підвіски, а зовнішній провідник з'єднується з рейковою зворотною мережею і забезпечує відгалуження зворотного струму в цей провідник.

У Франції застосовується розподілена система живлення однофазним змінним струмом напругою 2х25 кВ, 50 Гц з подовжньою лінією живлення і автотрансформаторними пунктами. Це забезпечує збільшення відстані між підстанціями до 100 км, знижує шкідливий вплив тягової мережі на суміжні споруди та телефонний зв'язок. Така система була застосована у 1981 р. на першій Південно-Східній ВСМ. На Атлантичній високошвидкісній лінії система електропостачання 2х25 кВ з однофазними трансформаторами на тягових підстанціях та з автотрансформаторами на лінії забезпечує рух поїздів з відбором високої потужності: 8800 кВт на одну секцію поїзда TGVA і з подвоєнням її при русі по системі багатьох одиниць (тобто 2х8800 кВт) при щільності руху в пікові періоди з інтервалами 4 хв. Тягові підстанції живляться по двох лініях електропередачі напругою до 400 кВ від енергосистеми і споруджуються відповідно до концепції централізованого

живлення. На підстанціях передбачено резервування трансформаторної потужності на 100 %, тобто встановлюються два трансформатори: робочий і резервний.

Кожна трансформаторна комірka містить однофазний трансформатор з природним масляним охолодженням і одиничною потужністю 60 МВ-А з реактивним опором, що обмежує на стороні напруги 50 кВ струм короткого замикання до 12 кА.

Пости секціонування та пункти паралельного живлення обладнуються двома автотрансформаторами 50/25 кВ потужністю по 10 МВ А кожен з меншою напругою короткого замикання порівняно з трансформатором тягової підстанції для зниження падіння напруги на лінії. На постах секціонування передбачається влаштування нейтральної вставки в контактній мережі, так як напруга тягового струму в сусідніх ділянках не збігається по фазі.

Кожен автоматичний вимикач має мікропроцесорний фазочутливий захист з порогом спрацьовування по струму, що реагує на всі види замикань у системі контактна мережа-рейка і живильні лінії-контактна мережа.

Вимикачі працюють за принципом гасіння дуги в елегазі, мають номінальний струм 1250 А і вимикаючу здатність 15 000 А.

Залізниці Німеччини, у тому числі й високошвидкісні лінії, свого часу були електрифіковані за системою однофазного змінного струму зниженої частоти 162/3 Гц. Така частота електричної тяги виходила розподілом на три промислової частоти 50 Гц за допомогою електромашинних, а в даний час напівпровідникових перетворювачів.

Вона забезпечувала застосування на електрорухомому складі колекторних електродвигунів однофазного струму при прямому живленні від контактної мережі змінного струму без випрямлення.

Такі двигуни задовільно працюють при частоті перемінного струму до 20 Гц. На швидкісних і спеціалізованих високошвидкісних лініях

Німеччини, а також Швеції та Австрії, традиційна для цих країн система електропостачання однофазного струму напругою 15 кВ зниженої частоти 162/3 Гц збережена до теперішнього часу, хоча при використанні сучасного електрорухомого складу асинхронними двигунами і перетворювачами частоти ця система не має переваг порівняно з використанням в електротягової мережі змінного струму промислової частоти. Більше того, система 162/3 Гц ускладнює систему електропостачання залізниць необхідністю застосування додаткових перетворювачів. Німецькі високошвидкісні поїзди ICE обладнані тяговими електроприводами з трифазними асинхронними двигунами і напівпровідниковими перетворювачами плавно регульованої частоти. Є модифікації поїздів для будь-якої системи струму в контактній мережі, а також багатосистемні поїзди, здатні працювати з тяговою мережею постійного струму 1,5 або 3 кВ і змінного струму 50 Гц або 162/3 Гц.

Питання та завдання для самоконтролю

Питання для самоконтролю:

- 1 Які основні вимоги до систем енергопостачання для високошвидкісних магістралей?
- 2 Які типи енергії використовуються у системах електропостачання для високошвидкісних поїздів?
- 3 Які переваги має використання систем змінного струму (АС) порівняно з постійним струмом (DC) у високошвидкісних магістралях?
- 4 Які технології використовуються для забезпечення безперебійного енергопостачання на високошвидкісних магістралях?
- 5 Які основні складові системи енергопостачання високошвидкісних магістралей?
- 6 Які стратегії енергозбереження застосовуються в системах енергопостачання для високошвидкісних магістралей?

7 Які перешкоди можуть виникнути при розробленні та експлуатації систем енергопостачання для високошвидкісних магістралей?

8 Які інноваційні технології використовуються для покращення систем енергопостачання на високошвидкісних магістралях?

Завдання для самоконтролю:

1 Проведіть порівняльний аналіз систем енергопостачання високошвидкісних магістралей у вашій країні та за кордоном.

2 Перегляньте технічні характеристики системи електропостачання для високошвидкісного поїзда та визначте їхні основні параметри.

3 Розробіть концепцію оптимізації енергопостачання для високошвидкісних магістралей з використанням відновлюваних джерел енергії.

4 Складіть план заходів з підвищення надійності систем енергопостачання для високошвидкісних магістралей.

5 Проведіть дослідження та підготуйте звіт про поточний стан систем енергопостачання для високошвидкісних магістралей в вашому регіоні.

ПРАКТИЧНА РОБОТА 9. Перспективи розвитку швидкісних та високошвидкісних магістралей в Україні. Українська залізнична швидкісна компанія

9.1 Мета роботи

Мета виконання практичної роботи полягає в ознайомленні здобувачів вищої освіти з поточним станом та прогнозами щодо розвитку швидкісних та високошвидкісних магістралей в Україні, оцінюванні потенційного впливу впровадження швидкісних та високошвидкісних

магістралей на економічний, соціальний та транспортний розвиток України, аналізу існуючих проєктів та ініціатив, спрямованих на розвиток швидкісного залізничного транспорту в Україні, вивченні досвіду інших країн у будівництві та експлуатації швидкісних та високошвидкісних магістралей, оцінюванні ролі та можливостей Української залізничної швидкісної компанії в реалізації цих проєктів та забезпеченні їх ефективного функціонування.

9.2 Теоретичні відомості

Зміни економічних умов розвитку країн визначили для вибору найвигіднішого інвестиційного проєкту нові підходи на основі системи показників, що відображають як суспільну, так і комерційну значущість. Ефективність розраховується з урахуванням аналізу потоку реальних грошей від інвестиційної, операційної та фінансової діяльності. Оцінка майбутніх витрат та результатів здійснюється в межах розрахункового періоду, тривалість якого залежить від терміну служби будівель, споруд та пристроїв, тривалості реалізації інвестиційних проєктів, заходів щодо посилення потужності об'єктів. Розрахунковий період (горизонт розрахунку) вимірюється кількістю кроків розрахунку, яким є квартал чи рік залежно від тривалості терміну служби та вартості пристроїв.

Для вартісної оцінки результатів та витрат можуть використовуватись поточні або прогнозні ціни. Враховуючи складність прогнозів ціноутворення, розрахунки ефективності проводять у поточних цінах. Поточні ціни приймаються постійними протягом усього розрахункового періоду.

Порівняння витрат, результатів та ефектів протягом розрахункового періоду здійснюється шляхом приведення їх до початкового періоду за допомогою норми дисконту E . Величина комерційної норми дисконту

приймається рівною прийнятною для інвестора нормою доходу (нормі прибутку) на капітал. Для практичних розрахунків економічної ефективності на залізничному транспорті може бути прийняте значення коефіцієнта ефективності капітальних вкладень E_n : якщо $E_n = 0,1 \dots 0,12$, то $E = 0,08$; якщо $E_n = 0,15$, то $E = 0,1$.

Аналіз діяльності пасажирського швидкісного руху в Україні показав, що ці перевезення протягом 2012 року були збитковими на 57 695 тис. грн. Це можна пояснити малою кількістю швидкісних поїздів, незначною економією терміну поїздки та малою кількістю зупинок на деяких маршрутах. Наприклад, населеність пасажирського поїзда «Інтерсіті+» на напрямку Київ–Львів становить всього 35 %. Це дуже низька населеність. А пояснюється вона тим, що в обласних містах Хмельницький та Тернопіль поїзд не має зупинки. Поїзд Київ–Донецьк–Київ також має низьку населеність (всього 36 %), а поїзд Київ–Дніпропетровськ–Київ 54 %. Лише поїзд Київ–Харків–Київ має населеність 71 %, що пояснюється суттєвим скороченням терміну поїздки порівняно зі «Столичним експресом». У 2013 році ситуація трохи змінилася. На напрямку Київ–Львів за перші п'ять місяців населеність зросла до 51 %, а на інших напрямках змінилася всього на 1 %. Низький попит на швидкісні перевезення пояснюється: – недосконалістю конструкції корейських поїздів «Hyundai Rotem», які мають багато недоробок, що призвело до численних зупинок їх у дорозі та небажання пасажирів подорожувати цими поїздами; – денні поїзди не вирішують проблему поїздок у відрядження, оскільки прибувають у Київ та обласні міста після 12-ї години, що унеможлиблює вирішення необхідних питань, які стосуються роботи. Тому всі пасажирів, що їдуть у відрядження, повинні залишатися в цих містах ще на одну добу та одночасно вирішувати проблему пошуку готелю; – низькою швидкістю руху, яка на окремих напрямках руху не перевищує 135 км/год (на маршруті Київ–Дніпропетровськ–Київ) та значним терміном поїздки (на маршруті Київ–

Донецьк–Київ); – конкуренцію денним швидкісним поїздам складають нічні фірмові поїзди, у яких вартість поїздки та втома нижче. Оскільки для швидкісних перевезень в Україні станом на 01.07.2013 року остаточно не вирішено порядок визначення витрат, нижче запропоновано принципи їх розрахунку відповідно до чинної Номенклатури витрат з коригуванням деяких складових та впровадженням додаткових статей за такою схемою:

- пасажирські перевезення швидкісних поїздів (пасажирська складова);
- утримання інфраструктури (частка, що припадає на пасажирські швидкісні поїзди);
- електровозна тяга;
- ремонт рухомого складу швидкісних поїздів;
- господарство матеріально-технічного забезпечення (тут і далі мається на увазі частка, що припадає на пасажирські швидкісні перевезення);
- обслуговування пасажирів;
- господарство станцій, вокзалів;
- лабораторії залізниць;
- послуги, пов'язані з охороною;
- роботи (послуги) з модернізації колії, штучних споруд та земляного полотна;
- кар'єри та щебеневі заводи;
- господарство електропостачання;
- господарство лісозахисних насаджень;
- торгівля, громадське харчування;
- автотранспортне господарство;
- виробництво теплової енергії;
- інші господарства;
- загальновиробничі витрати;

- адміністративні витрати;
- витрати на збут;
- інші витрати операційної діяльності;
- фінансові витрати;
- інші витрати;
- надзвичайні витрати.

З наведеного вище видно, що коли компанія із швидкісних перевезень буде входити до складу ПАТ «Укрзалізниця», то на неї буде віднесена значна частка від багатьох складових витрат. У цьому разі Українська залізнична швидкісна компанія (УЗШК) практично не може впливати на мінімізацію цих витрат, частка яких сягає майже 25 %, і це призведе до значних збитків. Якщо частка прямих, загальновиробничих, адміністративних та інших витрат визначається досить легко – встановленим відсотком для швидкісних перевезень, то дуже складно визначається частка витрат на утримання, модернізацію та розвиток колії, штучних споруд та земляного полотна. Справа в тому, що швидкісний пасажирський рух використовує з іншими видами перевезень одну і ту ж інфраструктуру, а при підвищенні швидкості руху пасажирських поїздів колія зношується значно інтенсивніше. Такі дослідження були проведені к.т.н., доц. І. П. Корженевичем з Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. У перспективі швидкісна компанія буде сплачувати ПАТ «Укрзалізниця» кошти за нитку графіка та додавати до свого тарифу свої витрати за користування швидкісними потягами та утримання власної інфраструктури.

Капітальні вкладення. Для швидкісного руху прогнозувати капітальні вкладення на розвиток власної та залізничної інфраструктури значно легше, оскільки в Україні накопичено значний досвід підготовки інфраструктури до швидкісного руху. Але додатково слід додати витрати «Укрзалізниці» на розподіл вантажних та пасажирських перевезень по різних напрямках. У той

же час слід враховувати те, що реконструкція колій для швидкісного руху зі швидкістю до 200 км/год потребує значно більше капітальних вкладень, ніж на попередніх етапах реформування.

Рухомий склад. Якщо «Укрзалізниця» для подальшого розвитку швидкісного руху буде закуповувати рухомий склад Крюківського вагонобудівного заводу, то витрати на придбання цих швидкісних поїздів будуть майже у два рази менші, ніж на поїзди корейського «Hyundai Rotem».

Розрахунок ефективності впровадження пасажирського високошвидкісного руху має певну специфіку й суттєво відрізняється від економіки курсування швидкісних перевезень, оскільки має свою ізольовану залізничну інфраструктуру. Якщо визначення ефективності швидкісного руху в Україні має певні проблеми з розрахунками витрат на перевезення пасажирів, то методика обґрунтування доцільності впровадження високошвидкісного руху досі не розроблена. Це пояснюється тим, що дотепер остаточно не визначена топологія високошвидкісних магістралей в Україні. Цією проблемою у 2002–2004 роках займалися французька компанія «SYSTRA» та Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. Було запропоновано три варіанти траси, які суттєво відрізнялися між собою. Але практика використання в Україні прискорених та швидкісних поїздів внесла деякі корективи в топологію високошвидкісних магістралей. Автор пропонує новий варіант, за яким передбачено виключення з траси Київ–Львів станцію Біла Церква та зупинки на станціях Вінниця та Хмельницький.

Таким чином, запропонована топологія високошвидкісних магістралей являє собою два горизонтальних та два вертикальних залізничних ходи, які дозволили поєднати між собою 13 обласних центрів і великі за кількістю мешканців міста Кривий Ріг та Маріуполь. Частково змінена організація руху поїздів, розрахункова середня швидкість руху

становить 200 км/год. Подальші дослідження стосовно економічної ефективності будівництва та експлуатації високошвидкісних магістралей слід починати з організації будівництва інфраструктури, закупівлі спеціального рухомого складу та визначення їх вартості.

Під терміном високошвидкісна інфраструктура слід розуміти:

- ізольовані високошвидкісні колії, що проходять як по земельній ділянці та і по естакаді;
- штучні споруди;
- необхідні пристрої, лінії електричних передач, автоблокування та зв'язку;
- залізничні станції різних призначень з необхідними пристроями;
- залізничні вокзали;
- вагоноремонтний завод;
- вагоноремонтні депо;
- інші інженерні споруди та комунікації для забезпечення нормальної діяльності попередніх споруд.

Питання та завдання для самоконтролю

Питання для самоконтролю:

- 1 Які фактори впливають на розвиток швидкісних та високошвидкісних магістралей в Україні?
- 2 Які переваги приносить впровадження швидкісного та високошвидкісного залізничного транспорту для економіки країни?
- 3 Назвіть деякі існуючі проєкти з будівництва швидкісних магістралей в Україні.
- 4 Які можливі виклики і перешкоди можуть виникнути під час реалізації проєктів швидкісного залізничного транспорту?

5 Які стратегії може застосовувати Українська залізнична швидкісна компанія для прискорення розвитку швидкісних магістралей?

6 Які переваги має високошвидкісний залізничний транспорт порівняно з іншими видами транспорту?

7 Які можливості для розвитку інтегрованої системи транспорту із залізничним та іншими видами транспорту існують в Україні?

8 Які передумови потрібні для успішного розвитку швидкісного залізничного транспорту в Україні?

Завдання для самоконтролю:

1 Підготуйте короткий огляд існуючих проєктів швидкісного транспорту в Україні.

2 Складіть список можливих перешкод і викликів для впровадження швидкісних магістралей в Україні та запропонуйте шляхи їх подолання.

3 Проведіть аналіз ролі Української залізничної швидкісної компанії у розвитку швидкісних магістралей.

4 Порівняйте переваги та недоліки високошвидкісного залізничного транспорту з іншими видами транспорту.

5 Складіть стратегію прискорення розвитку швидкісного та високошвидкісного залізничного транспорту в Україні.

ПРАКТИЧНА РОБОТА 10. Європейська система управління залізничним рухом (ERTMS)

10.1 Мета роботи

Мета виконання практичної роботи є такою:

1 Ознайомлення з принципами та основними складовими Європейської системи управління залізничним рухом.

2 Вивчення стандартів та технічних характеристик, що регулюють функціонування ERTMS.

3 Аналіз переваг та недоліків впровадження ERTMS порівняно з іншими системами управління залізничним рухом.

4 Розуміння процесу впровадження та інтеграції ERTMS в існуючі залізничні мережі.

5 Вивчення практичного досвіду застосування ERTMS у різних країнах Європи та його впливу на безпеку руху та ефективність залізничного транспорту.

10.2 Теоретичні відомості

Європейська система управління залізничним рухом (ERTMS)

ERTMS складається з трьох систем:

ETCS (Європейська система керування поїздами) — це стандарт керування поїздами, заснований на обладнанні в кабіні, здатному контролювати рух поїздів, включаючи зупинку поїзда, відповідно до максимально дозвленої швидкості на кожній ділянці лінії. Інформація про опис колії отримується від обладнання ETCS, встановленого біля колії, євробалізи або радіо (залежно від рівня експлуатації) і використовується для розрахунку та постійного контролю максимальної швидкості. Реакція машиніста постійно контролюється, і за необхідності ETCS може задіяти екстрене гальмування поїзда .

RMR (Railway Mobile Radio) — це європейська система радіозв'язку для залізничних операцій і друга з трьох систем ERTMS. Складається з двох радіосистем: GSM-R (Глобальна система мобільного зв'язку –залізниця) і FRMCS (Система мобільного зв'язку залізниці майбутнього). Дві системи можуть бути реалізовані одночасно або кожна з них незалежно. RMR полегшує зв'язок між поїздом і центрами управління рухом, розташованими поряд із колією.

GSM-R базується на радіотехнології GSM і використовує ексклюзивні діапазони частот.

FRMCS – це телекомунікаційна система майбутнього для залізниць на основі технології 5G. Він розроблений як наступник GSM-R і, таким чином, є ключовим фактором цифровізації залізничного транспорту.

ATO (Automatic Train Operation) є третьою системою ERTMS і автоматизує роботу поїзда до рівня автоматизації 2 (GoA2). ATO на GoA2 запускає та зупиняє поїзд автоматично за допомогою ETCS, що забезпечує функції автоматичного захисту поїзда (ATP), які відстежують рух поїздів і обмеження швидкості на лінії.

ETCS, або Європейська система управління рухом поїздів, є комплексом стандартів, розроблених у межах міжнародного співробітництва, що використовуються для автоматизації, телемеханіки, зв'язку та диспетчерського контролю у залізничному транспорті.

Головна мета ETCS полягає у ліквідуванні відмінностей між несумісними системами сигналізації, централізації та блокування (СЦБ) у країнах Європи, що забезпечує безперешкодний та безпечний залізничний рух на всій території Європейського континенту.

Єдину мережу європейських залізниць ускладнює ряд відмінностей, які існують у системах електрифікації, сигналізації, централізації та блокування (СЦБ), габаритах рухомого складу та наближенні до будівель, а також в конструкції зчпних пристроїв в кожній країні.

Несумісність різних систем забезпечення руху поїздів стало значним перешкоджанням на шляху створення єдиної європейської мережі залізниць. У кінці 1980-х років в Європі було до 30 різних систем СЦБ. Саме в цей час швидкісний залізничний транспорт почав стрімко розвиватися.

Спочатку міжнародні поїзди були оснащені системами сигналізації, що використовувалися в кожній країні, що ускладнювало роботу

локомотивних бригад, збільшувало витрати на експлуатацію та підвищувало ризик виникнення несправностей.

Робоча група, складена з міністрів транспорту європейських держав, ухвалила генеральний план розвитку швидкісних залізниць у Європі 4 та 5 грудня 1989 року. Цей проєкт був схвалений Європейською радою 17 грудня 1990 року, а резолюція 91/440/ЕЕС була прийнята 29 липня 1991 року, відповідно до якої було передбачено створення єдиної системи управління рухом поїздів. На той момент основні стандарти ETCS вже були прийняті.

Протягом півтора року Європейський науково-дослідний інститут залізничного транспорту, залізничні оператори та постачальники обладнання розробляли специфікацію нової системи.

Компанії-виробники рухомого складу та пристроїв автоматики, такі як Alstom, Ansaldo, Bombardier, Invensys, Siemens та Thales, завершили основну проєктну роботу і утворили спілку виробників систем безпеки (UNISIG). Від 1998 до 2002 року були внесені зміни та уточнення до технічної документації ETCS. У 1999 році система вперше була застосована на лінії Будапешт - Відень.

Директивою 2001/16/ЕС, прийнятою Європейським парламентом у 2001 році, було затверджено низку заходів, спрямованих на поступову уніфікацію всієї мережі європейських залізниць та забезпечення сумісності між залізницями, обладнаними або необладнаними ETCS.

У 2002 році Європейська комісія ухвалила обов'язкове використання системи ETCS на швидкісних залізницях, а з 2004 року – на всіх трансєвропейських залізничних коридорах.

До початку 2006 року було встановлено пристрої ETCS на понад 3000 одиниць рухомого складу та 6000 кілометрів колій. Станом на вересень 2013 року система ETCS та подібні системи були впроваджені в 34 країнах, включаючи Туреччину, Ізраїль, Китай, Лівію та Нову Зеландію. Для

прикладу розглянемо національні варіанти реалізації проєкту системи ERTMS в деяких країнах.

Австрія

Австрійський національний план впровадження (NIP) був представлений у 2017 році. Він повністю відповідає Європейському плану розгортання ERTMS.

Відповідно до австрійського NIP:

- в Австрії існують дві системи класу В: PZB і LZB. Для ділянок, обладнаних ETCS, клас BPZB буде видалено через три роки після оснащення ERTMS. На відміну від цього, LZB буде виведено з експлуатації, як тільки буде розгорнуто ERTMS. Тому повне виведення з експлуатації LZB очікується до 2030 року, а ПЗБ – до кінця 2030-х років. Крім того, на лінії, обладнані ETCS, можуть отримати доступ тільки транспортні засоби з бортовим обладнанням ETCS;
- вся мережа буде оснащена ERTMS рівня 2.

Бельгія

Бельгійський національний план впровадження (NIP) був представлений у 2017 році. Він повністю відповідає Європейському плану розгортання ERTMS.

Відповідно до бельгійського NIP:

- мережа матиме змішані рівні ERTMS; деякі лінії будуть оснащені ERTMS рівня 1, такі як лінія Брюссель – Левен, а інші – ERTMS рівня 2, такі як високошвидкісна лінія Галле – Лілль;
- виведення з експлуатації системи класу В передбачається після того, як лінія буде оснащена системою класу А, і буде повністю завершено на традиційній мережі до 2025 року.

Болгарія

Болгарський національний план впровадження (NIP) був наданий у 2021 році. Він частково відповідає Європейському плану розгортання

ERTMS, оскільки містить деякі дати, що виходять за межі цільових дат EDP. NIP також містить плани розгортання ділянок, які не належать до коридорів базової мережі.

Відповідно до NIP Болгарії:

- мережа матиме змішані рівні ERTMS на колії; деякі лінії будуть оснащені ERTMS рівня 1 (наприклад, лінія Відін-Софія), а інші - ERTMS рівня 2, наприклад лінія Софія-Зимниця. Проте планується, що бортове обладнання буде ERTMS рівня 2;
- як тільки лінія Софія – Пловдив – Стара Загора буде оснащена ETCS у 2029 році, жодна лінія в Болгарії не буде оснащена існуючою системою класу В.

Чехія

Чеський національний план впровадження (NIP) був представлений у 2017 році. Він повністю відповідає Європейському плану розгортання ERTMS.

Відповідно до чеського NIP:

- існує процес виведення з експлуатації класу В у 3 етапи: від моменту введення в експлуатацію системи класу А до моменту, коли ця система стане єдиною у використанні, і одночасно введення системи класу В вийшов з ладу;
- вся мережа буде оснащена ERTMS рівня 2.

Данія

Датський національний план впровадження (NIP) був представлений у 2019 році. Він не відповідає Європейському плану розгортання ERTMS, оскільки передбачає розгортання у відповідних коридорах до 2023-2024 років, хоча передбачається затримка від одного до п'яти років.

Згідно з датським NIP:

- вся мережа буде оснащена ERTMS рівня 2;

- у Данії ETCS замінить національну систему, термін служби якої закінчився. Коли лінії вводяться в експлуатацію з ERTMS, система класу В на лінії виводиться з експлуатації, і робота перетворюється лише на ERTMS. Хоча системи класу В будуть тимчасово впроваджені на деяких нових лініях, вони будуть замінені ETCS відповідно до плану розгортання.

Фінляндія

Фінський національний план реалізації (NIP) був представлений у 2017 році. Він містив дати, які виходили за межі 2023 року; отже, він не відповідав Європейському плану розгортання ERTMS.

Згідно з фінським NIP:

- очікується, що вся мережа буде оснащена ERTMS рівня 1 відповідно до NIP. Проте програма ETCS «Digirata» пропонує розгортання рівня 2 у фінській мережі;
- вилучення системи JKV класу В відбудеться шляхом розгортання ERTMS / ETCS. Як тільки обладнання ERTMS/ETCS буде розгорнуто, JKV буде видалено. Для ліній ЧПК, оснащених ERTMS, залізничні транспортні засоби повинні бути оснащені лише системою ERTMS.

Франція

Французький національний план впровадження (NIP) був представлений у 2017 році. Він відповідає європейському плану розгортання ERTMS із згаданими розділами. Проте для деяких ділянок (переважно ділянок після 2023 року) детальні плани відсутні.

Відповідно до французького NIP:

- мережа матиме змішані рівні ERTMS; деякі лінії будуть оснащені ERTMS рівня 1 (наприклад, звичайні лінії), а інші – ERTMS рівня 2, наприклад високошвидкісні лінії;
- виведення з експлуатації ТВМ на високошвидкісній мережі до 2030 року не планується. На звичайній мережі на даному етапі демонтаж

КВБ не планується; роботи призупинено в очікуванні інформації, яку нададуть поточні дослідження.

Німеччина

Німецький національний план впровадження (NIP) був представлений у 2017 році. Він частково відповідає Європейському плану розгортання ERTMS. Він включає деякі дати, які виходять за межі цільових дат EDP, і деякі розділи, які не включені до NIP.

Відповідно до німецького NIP:

- мережа матиме змішані рівні ERTMS; деякі звичайні лінії будуть оснащені ERTMS рівня 1, такі як лінія Росток – Берлін, а високошвидкісні лінії матимуть ERTMS рівня 2, такі як лінія Берлін – Лейпциг/Галле;
- виведення з експлуатації класу В не зазначено в NIP. Однак в оновлених документах зазначено, що подвійного обладнання на інфраструктурі не передбачається.

Принцип дії та компоненти ETCS

При використанні традиційних систем контролю руху поїздів на кожній блок-ділянці, може бути дозволено тільки один поїзд. ETCS базується на ідеї постійного контролю перевізного процесу за допомогою різних технічних засобів. Це дозволяє безпечно зменшити інтервал між поїздами і, отже, збільшити пропускну спроможність.

Робота ETCS ґрунтується на визначенні положення поїзда, обчисленні відстані між ними, контролі максимально допустимої швидкості на ділянці, розрахунку кривої гальмування (залежності швидкості від пройденого шляху) та порівнянні даних маршруту з технічними характеристиками поїзда.

Комплекс колійних та бортових пристроїв і систем ETCS виконує прийом, обробку та передачу всієї необхідної інформації. Безперервний

контроль руху, який адаптується до постійних змін у стані дороги, дозволяє оптимізувати трафік і знизити витрати енергії.

Компоненти ETCS:

- **Євробалізи** – автономні приймально-передавальні пристрої (транспондери) з енергонезалежною пам'яттю, що встановлюються між рейками. Призначені для обміну даними з рухомим складом. Балізи сприймають високочастотний сигнал від поїзда, що проїжджає над ними (рисунок 10.1), і можуть залежно від рівня впровадження ETCS передавати у відповідь координати, дані про колію (криві, ухили, системи електропостачання), постійні та тимчасові обмеження швидкості, показання світлофорів. Якщо обсяг даних великий, то встановлюють кілька (до восьми) баліз поспіль.



Рисунок 10.1 – Зчитувач для прийому кодових посилок від баліз, що встановлюється під днищем поїзда на рівні 21 см над головою рейки

Відстань між балізами (або групами баліз) залежності від встановленої на ділянці швидкості варіюється від 1 до 2,5 км. Часто балізи розміщують парами для підвищення ймовірності передачі інформації, і щоб бортова система розпізнавала напрямок руху.

При передачі використовується частотна маніпуляція. Логічна одиниця кодується сигналом із частотою 4,516 МГц (8 періодів), логічний нуль – сигналом із частотою 3,951 МГц (7 періодів). Значення несучої частоти становить 4,237 МГц. Швидкість передачі досягає 564,48 до біт/с.

Отримана інформація дешифрується бортовою системою та виводиться на пульт машиніста. Обмін повідомленнями може відбуватися за швидкості прямування поїзда до 500 км/год.

Необхідну енергію балізи одержують від передавальних модулів рухомого складу, які випромінюють високочастотний (27,095 МГц) сигнал, що індукує в котушці балізи електричний струм. Кодова послідовність з балізи на поїзд починає передаватися через 150 мкс після прийому високочастотного сигналу.

UNISIG встановлено два стандартні геометричні розміри балізи: 200 × 390 мм і 358 × 488 мм. Програмування балізи здійснюється за допомогою індуктивного зв'язку за допомогою переносного портативного комп'ютера та програмного модуля. Термін служби автономної євробалізи становить 30 років.

- Євролуп – кабельна система передачі даних. Може застосовуватись у ETCS першого рівня. Передача сигналів здійснюється за допомогою випромінюючого кабелю (гнучка антена), довжина якого може досягати 1 км (рисунок 10.2). Сам кабель, як правило, кріпиться до підшви рейки і передає бортовій системі поїзда радіосигнал подібно до баліз. Головною перевагою випромінюючих кабелів перед балізами є безперервність передачі повідомлень, що підвищує безпеку руху [46];

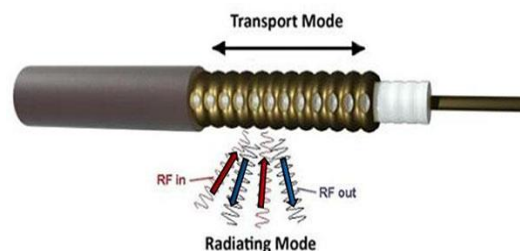


Рисунок 10.2 – Випромінюючий кабель (євролуп)

- Лінійний електронний блок (LEU) використовується на лініях ETCS рівня 1 для забезпечення зв'язку між СЦБ-пристроями та рухомим складом (рисунок 10.3);



Рисунок 10.3 – Лінійний електронний блок

- Бортове обладнання тягового рухомого складу складається з:

1) інтерфейсу машиніста (DMI) - раніше «людино-машинний інтерфейс» (ММІ), є стандартизованим інтерфейсом для машиніста. Він складається з набору кольорових дисплеїв, які показують швидкість поїзда, орган руху ETCS (у відповідних випадках) та іншу інформацію про стан обладнання ETCS. Він також використовується для відображення інформації про керування поїздом, отриманої від систем сигналізації та захисту поїздів до ETCS, коли поїзд не контролюється ETCS [44].

Щоб отримати доступ до меню налаштувань і конфігурації, DMI обладнано або сенсорним екраном, або набором програмних клавіш (рисунок 10.4).



Рисунок 10.4 – Кабіна машиніста з інтерфейсом ETCS серед інших приладів і дисплеїв

2) модуль передачі баліз (BTM) — це бездротовий приймач передавач, який полегшує передачу телеграм даних між поїздом і євробалізами, встановленими на колії (рисунок 10.1);

3) одометричні датчики дозволяють поїзду визначати відстань, яку він проїхав уздовж колії з моменту останнього проходження євробалізи або іншої відомої фіксованої позиції, яка необхідна для контролера ETCS поїзда, щоб гарантувати, що поїзд не проїде далі кінця свого руху. Для цього використовується ряд різних технологій, включаючи лічильники обертів колісних пар, встановлені на одній або кількох осях поїзда, акселерометри та доплерівський радар, що зображено на рисунку 10.5;



Рисунок 10.5 – Доплерівська радарна одометрична система, встановлена на днищі залізничного транспортного засобу

4) Європейський життєво важливий комп'ютер (EVC), який іноді називають Eurocab, є серцем бортового обладнання ETCS поїзда.

Він отримує та обробляє інформацію, отриману від датчиків і комунікаційного обладнання поїзда, надсилає зображення на дисплеї до ДМІ, контролює відповідність поїзда правилам руху та іншим експлуатаційним обмеженням і втручається, якщо необхідно, щоб забезпечити безпеку, застосовуючи екстрене гальмування або іншим чином. Оскільки існує верхня межа довжини кабелів, які з'єднують EVC з іншими

компонентами ETCS, довшим багатовагонним поїздам іноді може знадобитися окремий EVC для кожної кабіни машиніста (рисунок 10.6);



Рисунок 10.6 – Європейська життєво важлива комп'ютерна система для встановлення в стійку

5) Єврорадіо – це безпечний протокол радіозв'язку, який дозволяє передавати дані зашифрованим каналом через відкриту мережу стандарту GSM-R. Цей протокол забезпечує асинхронний обмін інформацією між поїздом та центром радіоблокування. Передача даних з рухомого складу відбувається в частотному діапазоні від 921 до 925 МГц, а прийом – від 876 до 880 МГц. У цій частотній смузі може бути до 19 каналів, які розділені на смуги шириною 200 кГц. За допомогою GSM-R передаються як дані, так і голос.

Службова і користувальницька інформація передаються різними фізичними каналами. Взаємодія мережевих пристроїв відбувається відповідно до моделі OSI, працюючи на різних рівнях. Модеми GSM-R працюють на каналному рівні, маршрутизація даних відбувається на мережному рівні, а для встановлення з'єднання з віддаленими об'єктами використовується протокол X.224 на транспортному рівні. Встановлення з'єднання між рухомим складом і RBC повинно займати не більше 10 секунд, після чого робиться повторна спроба підключення. Покриття GSM-R повинно дозволяти щонайменше дві спроби підключення без виходу

рухомого складу, який рухається з максимальною дозволеною швидкістю, з зони дії поточного RBC.

Допустимий коефіцієнт помилок (відношення невдалих підключень до загальної кількості) встановлений на рівні менше 10^{-4} за стандартом UNISIG.

Рівні ETCS та моделювання принципів їх роботи

Для того, щоб дослідити і проаналізувати рівні ETCS, а також провести моделювання принципу їх роботи, потрібно детально розглянути кожен з них.

Наприклад, з яких компонентів складається рівень, як працює система бортового обладнання у сукупності з колійним.

Залежно від вимог, що висувуються до конкретної ділянки залізниці, виділять чотири основних рівня ETCS: від нульового до третього. Бортові системи на рухомому складі мають зворотну сумісність, тобто потяг, що обладнаний ETCS другого рівня, може експлуатуватися на залізничних лініях першого і нульового рівнів.

Нульовий рівень

Напільна апаратура сигналізації, централізації та блокування не включена в ETCS при нульовому рівні. За знаками та сигналами самостійно слідкує машиніст. Бортова система лише контролює дотримання швидкісного режиму для даного типу рухомого складу на ділянці, якою прослідкує потяг. Цей рівень реалізації не застосовується на міжнародних маршрутах, тому, що видимі сигнали у різних країнах розрізняються та при проходженні кордону обов'язкова зміна локомотивних бригад.

Перший рівень

При першому рівні реалізації ETCS перегони розділяються на блок-ділянки прохідними сигнальними точками. Кожна блок-ділянка повинна мати довжину не менше гальмівного шляху рухомого складу. Дана

організація руху найбільш наближена до системи АБ. На поїзд передаються показання світлофорів та дані про колію через євробалізи або ж євролуп.

Ця система легко інтегрується в наявні у різних країнах види сигналізації і погоджується з ними, що дозволяє уникнути глибокої модернізації бортового і напільного обладнання. Інформація кодується LEU та надсилається на балізи. Спеціальній зчитувач під днищем потяга приймає її, бортовий комп'ютер дешифрує дані, які надійшли, розраховує оптимальну швидкість, криву гальмування та виводить відомості на пульт машиніста. При кожному проходженні балізи інформація оновлюється. Для контролю прослідування потягом блок-ділянки у повному складі та фактичного його звільнення використовуються рейкові кола та датчики колісних пар.

Другий рівень

Для другого рівня ETCS характерний неперервний обмін даними по двосторонньому цифровому радіоканалу стандарту GSM-R між рухомим складом і центром радіоблокування, який здійснює автоматичне інтервальне регулювання. Євробалізи передають на потяг лише своє місцеположення. Бортова система визначає місцеположення рухомого складу на основі останніх отриманих координат з балізи і подоланого після цього шляху, обчисленого одометром. Дані неперервно передаються в RBC.

У центрі радіоблокування проводиться порівняння отриманих даних з плановим графіком руху потяга. Результати порівняння по мережі цифрового радіозв'язку надсилаються у бортову інформаційну-керуючу систему рухомого складу для сповіщення машиніста про відхилення від графіку руху та для наступного прийняття рішень по руху потяга. Світлофори при цьому не потрібні. Контроль прослідування рухомого складу у повному складі здійснюється апаратурою СЦБ. Дані про вільність ділянки надсилається до ЕЦ, після передаються в RBC, звідти по радіозв'язку відправляється наступному потягу. Неперервний радіообмін

дозволяє скоротити інтервал попутного слідування у відношенні з традиційними системами СЦБ.

Третій рівень

Даний рівень найменш розпоширений у відношенні до інших. До раніше згаданих рівнів, для третього рівня рухомий склад додатково обладнується системою перевірки цілісності потяга, що відкриє можливість повністю відмовитися від напільного обладнання виявлення потяга, а саме рейкових кіл та датчиків колісних пар. Через радіоканали між RBC та рухомим складом відбувається обмін необхідною інформацією. Тоді необхідність розділення перегону на блок-ділянки відпадає, що дозволить безпечно зменшити інтервали попутного слідування, тим самим максимально збільшити пропускну здатність ліній.

ERTMS можна використовувати в багатьох варіантах і тому цю систему можна гнучко адаптувати до існуючої ситуації. Нижче додатково наведено рівні NTC та регіональний ERTMS.

Рівень NTC

Рівень NTC (National Train Control — національна система керування рухом потягів) передбачає додаткове обладнання потяга пристроями для взаємодії з національними системами СЦБ, не інтегрованими в ETCS. Це дозволяє рухомому складу переміщатися по коліях як обладнаних, так і не обладнаних ETCS. Впровадження NTC пов'язане зі значними матеріальними і трудовими витратами, тому використовується рідко. Частіше здійснюється інтеграція національних систем сигналізації в ETCS.

Регіональний ERTMS

У зв'язку з високою вартістю впровадження ETCS було розроблено бюджетну альтернативу ETCS Low Cost (далі перейменовано на назву ERTMS Regional). Вартість впровадження даної системи на 40 % нижче, ніж ETCS. Регіональний ERTMS – це спрощена версія ETCS третього рівня для ліній з невеликою інтенсивністю руху і швидкостями до 70 км/г.

Ця концепція характеризується відсутністю напільного обладнання для виявлення поїздів. Локомотив безперервно передає своє місцеположення на центральний пост по радіоканалу GSM-R, як це реалізована на другому та третьому рівнях.

Контроль прибуття поїзда на станцію в повному складі здійснюється візуально або за допомогою бортових систем. Така реалізація є сумішшю напівавтоматичного блокування та ETCS третього рівня.

Питання та завдання для самоконтролю

Питання для самоконтролю:

- 1 Що означає абревіатура "ERTMS"?
- 2 Які основні компоненти входять до складу Європейської системи управління залізничним рухом?
- 3 Яка роль мобільного об'єкта у системі ERTMS?
- 4 Які стандарти використовуються в рамках ERTMS?
- 5 Які переваги має впровадження ERTMS порівняно з традиційними системами управління залізничним рухом?
- 6 Які країни вже успішно впровадили систему ERTMS?
- 7 Які технічні вимоги повинні виконуватися для ефективного функціонування ERTMS?
- 8 Які основні виклики виникають під час впровадження ERTMS на залізницях?

Завдання для самоконтролю:

- 1 Знайдіть інформацію про процес впровадження ERTMS в одній з країн Європи та опишіть його основні етапи.
- 2 Порівняйте технічні характеристики системи ERTMS Level 1 та ERTMS Level 2.

3 Проаналізуйте вплив впровадження ERTMS на безпеку руху на залізницях.

4 Обговоріть можливості і перешкоди впровадження ERTMS на залізницях України.

5 Сформулюйте пропозиції щодо подальшого розвитку та впровадження системи ERTMS у світі.

Список літератури

- 1 Гороховський О. Швидкісні залізничні магістралі: Історія та сучасність. Київ: Видавництво "Київський університет", 2018. 320 с.
- 2 Петренко Н. Розвиток швидкісних залізниць у світі та в Україні. Київ: УкрДрук, 2020. 280 с.
- 3 Козаченко В. Інфраструктурні аспекти швидкісних залізниць: технічні виклики. Львів: Львівська книгарня, 2017. 240 с.
- 4 Степаненко І. Особливості побудови швидкісних залізниць: інженерні рішення. Дніпро: Дніпровський університет, 2019. 300 с.
- 5 Литвиненко О. Еволюція транспортних систем: швидкісні залізниці. Київ: Наукова думка, 2016. 260 с.
- 6 Гриценко В. Швидкісні залізниці: технології та перспективи. Київ, 2015. 280 с.
- 7 Шевченко Л. Швидкісні залізничні магістралі: від історії до сьогодення. Київ: Нова Книга, 2018. 320 с.
- 8 Іванов А. Швидкісні залізниці: переваги та недоліки. Київ: Інтерпрес, 2017. 250 с.
- 9 Коваленко М. Історія розвитку транспортних систем: від паропоездів до маглеву. Київ: Сфера, 2019. 290 с.
- 10 Данилов Є. Інновації в будівництві швидкісних залізниць: від технологій до економічних аспектів. Київ: "Київський політехнічний інститут", 2016. 270 с.
- 11 Іванов І. І. Сучасні технології управління рухом на швидкісних магістральних залізницях. Київ: ВПЦ "Київський університет", 2019. 180 с.
- 12 Петров П. П. Автоматизовані системи сигналізації на високошвидкісних магістральних залізницях. Київ: Наукова думка. 2017. 220 с.

13 Сидоренко С. С. Інтегровані системи управління рухом на швидкісних магістральних залізницях. Київ: Інститут транспортної інфраструктури, 2020. 150 с.

14 Гриценко Г. Г. Основи технічної експлуатації систем управління та сигналізації на швидкісних магістральних залізницях. Київ: Транспорт 2018. 190 с.

15 Коваль К. К. Розвиток систем управління та сигналізації на швидкісних магістральних залізницях: виклики та перспективи. Київ: Наукове товариство "Транспорт", 2016. 210 с.

16 Михайленко М. М. Сучасні підходи до проектування систем управління та сигналізації на швидкісних магістральних залізницях. Київ: Інститут транспортної інфраструктури, 2021. 230 с.

17 Іванов І. І. Безпека систем автоматики на високошвидкісних магістральних залізницях. Київ: ВПЦ «Київський університет», 2018. 150 с.

18 Петров П. П. Надійність залізничної автоматики на швидкісних магістральних лініях. Київ: Наукова думка, 2019. 180 с.

19 Сидоренко С. С. Основи безпеки управління рухом на високошвидкісних магістральних залізницях. Київ: Інститут транспортної інфраструктури, 2020. 200 с.

20 Гриценко Г. Г. Безпека та надійність систем залізничної автоматики. Київ: Транспорт, 2017. 170 с.

21 Коваль К. К. Забезпечення безпеки та надійності систем управління на високошвидкісних магістральних залізницях. Київ: Наукове товариство «Транспорт», 2016. 190 с.

22 Михайленко М. М. Аспекти безпеки в системах залізничної автоматики на високошвидкісних магістральних залізницях. Київ: Інститут транспортної інфраструктури, 2021. 220 с.

23 Петренко О. О. Техніко-економічне обґрунтування систем управління рухом на високошвидкісних залізницях. Київ: Інститут транспортної інфраструктури, 2018. 120 с.

24 Сидоров В. В. Економічні аспекти впровадження систем управління рухом поїздів на швидкісних магістралях. Київ: Наукова думка, 2019. 150 с.

25 Гриценко Г. Г. Техніко-економічні аспекти реалізації систем управління рухом поїздів на високошвидкісних залізницях. Київ: Транспорт, 2017. 140 с.

26 Іванов Д. Д. Аналіз техніко-економічної доцільності систем управління рухом поїздів на швидкісних та високошвидкісних залізницях. Київ. ВПЦ «Київський університет», 2016. 160 с.

27 Павленко В. В. Економічна ефективність впровадження систем управління рухом на швидкісних і високошвидкісних залізницях. Київ: Інститут транспортної інфраструктури, 2020. 130 с.

28 Погорелов О. В., Лаптев В. В. Аеродинаміка транспортних засобів: підручн. Київ: НТУУ «КПІ», 2018. 218 с.

29 Бублик Л. М., Шумілов О. М. Аеродинаміка транспортних засобів: навч. посібник. Харків: ХНАДУ, 2016. 168 с.

30 Коваленко І. В., Ларіонов В. П. Теорія та практика аеродинаміки: навч. посібник. Харків: НТУ «ХПІ», 2018. 122 с.

31 Балян І. І., Кравчук А. М. Аеродинаміка автотранспортних засобів. Львів: ЛНУ імені І. Франка, 2017. 212 с.

32 Білоус Л. В., Стець І. В. Транспортна аеродинаміка: підручник. Київ: Київський національний університет будівництва і архітектури, 2016. 238 с. Краснобай О. С. Магнітна левітація: принципи та технології. Київ: Вид-во «Літера», 2015. 240 с.

34 Петренко І. В. Технологія магнітної левітації високошвидкісних потягів. Київ: Вид-во «Укрліт», 2018. 180 с.

35 Головач І. П. Гіперлуп: майбутнє швидкісного транспорту. Київ: Вид-во «Сучасність», 2019. 200 с.

- 36 Ковальов В. І. Магнітна левітація у транспорті. Київ: Вид-во «Академперіодика», 2017. 160 с.
- 37 Літовченко С. М. Історія та перспективи розвитку потягів на магнітній подушці. Київ: Вид-во «Укртранс», 2016. 220 с.
- 38 Тарасенко О. І. Магнітна левітація: теорія та практика. Київ: Вид-во «Нова генерація», 2018. 190 с.
- 39 Кравчук Л. О. Гіперлуп: від теорії до реалізації. Київ: Вид-во «Інновації», 2020. 210 с.
- 40 Панченко В. М. Сучасні технології високошвидкісного руху на залізницях. Київ: Вид-во «Універсум», 2019. 170 с.
- 41 Колії та шляхи залізничного транспорту: підручник / за заг. ред. О. А. Пащенко. Київ: Видавничий дім «Лібра Книга», 2018. 320 с.
- 42 Стрілець В. І. Технічне обслуговування та ремонт колійного господарства. Київ: Видавництво ЦНТУ, 2015. 240 с.
- 43 Коваленко В. М. Основи будівництва та ремонту залізничних колій. Київ: Видавничий дім «Лібра Книга», 2017. 280 с.
- 44 Колійні під'їзди для швидкісних магістралей: навч. посібник / А. Г. Марчук, Ю. В. Лисенко, А. В. Горобченко. Київ, 2019, 200 с.
- 45 Шкільник М. І. Колійне господарство: навч. посібник. Київ: Київський національний університет будівництва і архітектури, 2018. 180 с.
- 46 Жуковський В. В. Технічне обслуговування колії та шляхового руху. Київ: А. С. К., 2016. 150 с.
- 47 Коваль Ю. В., Савченко О. М. Основи техніки та експлуатації залізничного транспорту: навч. посібник. Київ: Видавництво УЦНТУ, 2019. 210 с.
- 48 Кравчук І. М., Мельник М. С., Тукало В. О. Електричне обладнання залізничних магістралей. Київ: Техніка, 2012. 240 с.

49 Мусієнко В. П., Ткачук С. П., Гуцол В. І. Системи електропостачання залізничного транспорту. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2014. 320 с.

50 Ковальчук І. О., Петренко М. В., Шевченко О. І. Енергоефективність систем електропостачання високошвидкісних магістралей. Київ: Наукова думка, 2018. 280 с.

51 Іванов В. С., Сидоренко О. В., Петров В. І. Актуальні проблеми забезпечення енергії високошвидкісних магістралей. Харків: Видавничий дім «Інженер», 2017. 200 с.

52 Савченко О. Л., Грищенко Л. М., Кравченко В. П. Енергозбереження та відновлювані джерела енергії у системах електропостачання залізниць. Київ: Аграр Медіа Груп, 2016. 180 с.

53 Головка О. М., Ковальов І. В., Кравець М. І. Сучасні технології у системах електропостачання високошвидкісних магістралей. Дніпро: Національний гідрометеорологічний університет, 2019. 220 с.

54 Марченко М. В., Сергієнко С. О., Трофімов В. І. Інноваційні рішення у системах енергопостачання високошвидкісних магістралей. Харків: ПП «Гельветика», 2015. 250 с.

55 Розвиток швидкісного та високошвидкісного залізничного транспорту в Україні. Колійні під'їзди для швидкісних магістралей: навч. посібник / В. І. Петренко, А. Г. Марчук, Ю. В. Лисенко, А. В. Горобченко. Київ: Укрзалізниця, 2020. 120 с.

56 Коваленко І. О. Від швидкості до комфорту: стратегії розвитку Української залізничної швидкісної компанії. Київ: Державне вид-во «Українська залізнична швидкісна компанія», 2019. 150 с.

57 Сидоренко О. М. Шляхи вдосконалення інфраструктури швидкісних магістралей в Україні. Український науковий фонд, 2018. 90 с.

58 Даниленко М. В. Ефективність використання ресурсів в розвитку швидкісних залізничних магістралей. Київ: Інститут економіки та прогнозування, 2021. 110 с.

59 Гриценко О. І. Інноваційні підходи до розвитку залізничної інфраструктури в Україні. Київ: Українська наукова спілка «Швидкісні магістралі», 2017. 130 с.

60 Ковальова Н. І. Інвестиційні можливості в розвитку швидкісного транспорту в Україні. Київ: Державний інститут економіки та прогнозування, 2020. 100 с.

61 Карпенко В. І. Модернізація та підвищення ефективності роботи Української залізничної швидкісної компанії. Київ: Укрзалізниця, 2021.

62 Ковальов Ю. В. Стратегічні напрями розвитку залізничного транспорту в Україні на прогресивних етапах. Київ: Національний університет залізничного транспорту, 2019.

63 Іванов П., Петров В., Сидоренко І. Сучасні технології управління залізничним рухом. Київ: Укрзалізниця, 2019. 110 с.

64 Ковальчук О., Громова І., Білінська Т. ERTMS: впровадження та перспективи. Львів: Вид-во Львівської політехніки, 2018. 5 с.

65 Степанов Р., Козлов М., Литвиненко О. Розвиток залізничного транспорту в Європі: виклики та перспективи. Київ: Вид-во Національного університету «Києво-Могилянська академія», 2020. 52 с.

66 Бондаренко І., Мельник О., Степанова Л. Сучасні тенденції розвитку систем управління рухом на залізницях. Дніпро: Вид-во Дніпровського національного університету залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна, 2021. 5 с.

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання практичних робіт з дисципліни
*«ІНФРАСТРУКТУРНІ СКЛАДОВІ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ
БЕЗПЕКИ РУХУ НА ШВИДКІСНИХ ЗАЛІЗНИЦЯХ»*

Відповідальний за випуск Сотник В. О.

Підписано до друку 24.04.2024 р.

Умовн. друк. арк. 5,5. Тираж . Замовлення № .

Видавець та виготовлювач Український державний університет
залізничного транспорту,
61050, Харків-50, майдан Фейєрбаха, 7.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 6100 від 21.03.2018 р.