МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

В. О. Сотник, С. О. Змій, О. В. Щебликіна

ІНФРАСТРУКТУРНІ СКЛАДОВІ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕКИ РУХУ НА ШВИДКІСНИХ МАГІСТРАЛЯХ

Практикум

Харків 2026

УДК 656.027:656.2.08

С 68

Рекомендовано вченою радою Українського державного університету залізничного транспорту як навчальний посібник (витяг із протоколу № 8 від 03 липня 2026 р.)

Рецензенти:

професори С. Г. Буряковський (НДПКІ Молнія НТУ «ХПІ»),

В. Г. Маслієв (НТУ «ХПІ»)

С 68 Сотник В. О., Змій С. О., Щебликіна О. В. Інфраструктурні складові забезпечення безпеки руху на швидкісних магістралях: Практикум. – Харків: УкрДУЗТ, 2026. – 162 с., рис. 1, табл. 6.

ISBN

Практикум для практичних робіт розроблено відповідно до навчальної програми освітнього компонента «Інфраструктурні складові забезпечення безпеки руху на швидкісних магістралях» для здобувачів вищої освіти другого (магістерського) рівня спеціальності G7 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка» J7 «Залізничний транспорт». Видання містить комплекс практичних завдань, спрямованих на вивчення залізничного транспорту як складної людино-машинної системи та дослідження факторів, що впливають на безпеку руху в умовах високих швидкостей. Матеріали охоплюють аналіз архітектур інтелектуальних систем керування, цифрових радіоканалів, супутникового моніторингу та методів забезпечення надійності мікропроцесорних структур.

УДК 656.027:656.2.08

ISBN

© Український державний університет залізничного транспорту, 2026.

ЗМІСТ

ВСТУП..... 5

ПРАКТИЧНА РОБОТА 1. АНАЛІЗ ФАКТОРІВ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА БЕЗПЕКУ РУХУ НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ. ЛЮДИНО-МАШИННА СИСТЕМА НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ І ЇЇ ВПЛИВ НА БЕЗПЕКУ РУХУ 6

ПРАКТИЧНА РОБОТА 2. ВИЗНАЧЕННЯ ТА АНАЛІЗ РИЗИКІВ НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ, КЕРУВАННЯ РИЗИКАМИ В ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМАХ 13

ПРАКТИЧНА РОБОТА 3. АНАЛІЗ ПЕРЕВАГ І НЕДОЛІКІВ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ БЕЗПЕКОЮ РУХУ НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ У СВІТІ ТА В УКРАЇНІ 23

ПРАКТИЧНА РОБОТА 4. ВИЗНАЧЕННЯ ПРИНЦИПІВ БЕЗПЕЧНОЇ ПОБУДОВИ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ШВИДКІСНИХ І ВИСОКОШВИДКІСНИХ МАГІСТРАЛЕЙ, ОЦІНЮВАННЯ ЇХНЬОГО ВПЛИВУ НА БЕЗПЕКУ РУХУ 30

ПРАКТИЧНА РОБОТА 5. ВИЗНАЧЕННЯ І АНАЛІЗ КРИТЕРІЇВ ВІДНЕСЕННЯ ЗАЛІЗНИЧНИХ ДІЛЬНИЦЬ ДО ШВИДКІСНИХ І ВИСОКОШВИДКІСНИХ 41

ПРАКТИЧА РОБОТА 6. РОЗРОБЛЕННЯ СОЦІАЛЬНО-ЕКОНОМІЧНИХ ОБҐРУНТУВАНЬ ДЛЯ БУДІВНИЦТВА ШВИДКІСНИХ І ВИСОКОШВИДКІСНИХ МАГІСТРАЛЕЙ..... 53

ПРАКТИЧНА РОБОТА 7. АНАЛІЗ ТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТА ІНЖЕНЕРНИХ РІШЕНЬ ДЛЯ ВИДІЛЕННЯ ЗАЛІЗНИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ ШВИДКІСНИХ МАГІСТРАЛЕЙ ІЗ МАГІСТРАЛЕЙ ЗАГАЛЬНОГО КОРИСТУВАННЯ..... 81

ПРАКТИЧНА РОБОТА 8. ДОСЛІДЖЕННЯ МОНІТОРИНГУ І ТЕХНІЧНОЇ ДІАГНОСТИКИ КЕРУЮЧИХ СИСТЕМ ВИСОКОШВИДКІСНИХ МАГІСТРАЛЕЙ. ОРГАНІЗАЦІЯ ЗВ'ЯЗКУ НА ВИСОКОШВИДКІСНИХ МАГІСТРАЛЯХ 91

ПРАКТИЧНА РОБОТА 9. АНАЛІЗ ПЕРЕДУМОВ ДЛЯ БУДІВНИЦТВА ШВИДКІСНОГО ТА ВИСОКОШВИДКІСНОГО РУХУ В ДЕРЖАВІ. ПІДГОТОВКА ОБҐРУНТУВАНЬ І РЕКОМЕНДАЦІЙ 100

ПРАКТИЧНА РОБОТА 10. ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ РУХОМ НА ШВИДКІСНИХ ЗАЛІЗНИЦЯХ 117

ПРАКТИЧНА РОБОТА 11. АНАЛІЗ УПРАВЛІНСЬКИХ І ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ ЄВРОПЕЙСЬКОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЗАЛІЗНИЧНИМ РУХОМ (ERTMS) 124

ПРАКТИЧНА РОБОТА 12. АНАЛІЗ ПЕРЕВАГ І НЕДОЛІКІВ СИСТЕМ ІНТЕРВАЛЬНОГО РЕГУЛЮВАННЯ РУХУ ПОЇЗДІВ НА ПЕРЕГОНАХ ШВИДКІСНИХ І ВИСОКОШВИДКІСНИХ ДІЛЬНИЦЬ 132

ПРАКТИЧНА РОБОТА 13. РОЗРОБЛЕННЯ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ ДЛЯ ПРОЄКТУВАННЯ ВИСОКОШВИДКІСНОЇ МАГІСТРАЛІ 144

ПРАКТИЧНА РОБОТА 14. ВИЗНАЧЕННЯ ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ РУХОМ ПОЇЗДІВ НА ШВИДКІСНИХ І ВИСОКОШВИДКІСНИХ ДІЛЬНИЦЯХ 153

Бібліографічний список 161

ВСТУП

Розвиток швидкісного залізничного руху вимагає принципово нових підходів до проєктування інфраструктури та систем автоматизації. Дисципліна «Інфраструктурні складові забезпечення безпеки руху на швидкісних магістралях» присвячена дослідженню критичних аспектів функціонування швидкісного транспорту, де роль людського фактора та надійність технічних засобів стають вирішальними.

Метою курсу є підготовка магістрів спеціальності G7 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка» до розв'язання складних інженерних задач у сфері експлуатації інтелектуальних систем керування. Практичні заняття охоплюють вивчення систем із «рухомими блок-ділянками», цифрових мереж передачі даних та систем супутникової навігації, що є базовими елементами інфраструктури швидкісних ліній.

Після виконання всіх практичних робіт здобувач володітиме наступними професійними компетенціями: вмінням аналізувати залізничний транспорт як людино-машинну систему та оцінювати вплив людського фактора на безпеку руху на швидкісних магістралях; здатністю проводити порівняльний аналіз методів інтервального регулювання та оцінювати ефективність інноваційних систем для швидкісного руху; навичками проєктування колійних планів перегонів з використанням тональних рейкових ланцюгів та безстикових технологій; здатністю досліджувати роботу мікропроцесорних дешифраторів та систем автоматичного керування гальмами (САУТ); розумінням стратегій забезпечення безпеки в мікропроцесорних структурах, включаючи мажоритарні принципи «2 із 3»; вмінням інтегрувати засоби супутникової навігації та рахунку осей у загальну архітектуру керування рухом на швидкісних лініях; навичками роботи з цифровими радіоканалами передачі даних та засобами телекерування для забезпечення безперебійного моніторингу дислокації рухомого складу.

Навчальний процес базується на використанні сучасного програмного забезпечення та дотриманні кодексу академічної доброчесності, що стимулює здобувачів до самостійної науково-дослідної роботи.

ПРАКТИЧНА РОБОТА 1
АНАЛІЗ ФАКТОРІВ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА БЕЗПЕКУ РУХУ НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ. ЛЮДИНО-МАШИННА СИСТЕМА НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ І ЇЇ ВПЛИВ НА БЕЗПЕКУ РУХУ

Мета заняття: ознайомити здобувачів з основними факторами, що впливають на безпеку руху на залізничному транспорті. Аналіз ролі людино-машинної системи (ЛМС) для забезпечення безпеки. Формування навичок оцінювання ризиків та ухвалення рішень у взаємодії між людьми і технічними засобами.

Вступна частина

Постановка важливих питань:

- які фактори впливають на безпеку руху;
- як людино-машинна система забезпечує або порушує безпеку руху?

Теоретична частина

Безпека руху на залізничному транспорті є одним із пріоритетів державної політики та залізничних операторів. Удосконалення технічних засобів, автоматизація процесів керування, а також адаптація роботи персоналу до умов сучасних технологій є основними аспектами, які впливають на безпеку. Особливу увагу слід приділити людино-машинній системі (ЛМС), яка інтегрує технічні та людські ресурси в єдине ціле для забезпечення ефективного і безпечного функціонування транспортної системи.

Фактори, що впливають на безпеку руху

Технічний стан залізничної інфраструктури: зношеність колійного господарства, несправності стрілочних переводів, контактної мережі, систем сигналізації та зв’язку, недостатній рівень автоматизації систем керування.

Людський фактор. Це один із найважливіших і найскладніших для дослідження та прогнозування фактор:

- професійний рівень машиністів, диспетчерів і технічного персоналу;
- психофізіологічний стан працівників (втома, стрес, емоційне виснаження);
- помилки в керуванні через недоліки в підготовці або відсутність чітких інструкцій.

Зовнішні умови: вплив погодних умов (снігопади, дощі, температурні перепади), природні катаклізми (землетруси, повені).

Організаційні аспекти - це неправильне планування графіків руху, недостатня взаємодія між різними службами залізничного транспорту і застаріла нормативно-правова база.

Людино-машинна система (ЛМС) у залізничному транспорті є основним елементом сучасних залізничних систем, що поєднує роботу технічних засобів із діями людини. Основна мета ЛМС – забезпечення безпеки та ефективності руху через інтеграцію технічних засобів і людського фактора.

Основними компонентами ЛМС є:

1) *людина*, яка виконує функції керування, моніторингу, ухвалення рішень. Вона є основною ланкою у випадку надзвичайних ситуацій;
2) *машина* – це системи автоматизації, що виконують рутинні завдання, і системи діагностики, сигналізації та блокування.

Людина і машина взаємодіють через інтерфейси, такі як монітори, пульти керування, сигналізація. Успішна взаємодія залежить від зручності інтерфейсу, рівня підготовки персоналу та надійності технічних засобів.

На безпеку руху людино-машинна система має як позитивний, так і негативний вплив. До позитивного впливу можна віднести:

- підвищення точності виконання операцій завдяки автоматизації;

- зменшення кількості помилок через впровадження систем підтримки ухвалення рішень;

- швидке реагування на нештатні ситуації.

Негативним впливом є:

- надмірна довіра до автоматичних систем, що може знизити увагу оператора;

- технічні збої або програмні помилки, що можуть призвести до аварійних ситуацій;

- недостатня підготовка персоналу для роботи з новими системами.

Приклади позитивного та негативного впливу людино-машинної системи (ЛМС) на безпеку руху поїздів на залізничному транспорті:

1. Позитивний вплив ЛМС:

- *системи автоматичного регулювання швидкості (АТС)*. Автоматична система гальмування запобігла зіткненню двох поїздів, коли машиніст не помітив сигнал зупинки через втому. Система автоматично знизила швидкість і зупинила поїзд перед небезпечною ділянкою. У результаті це дало змогу уникнути аварії, зберегти життя пасажирів і персоналу;

- *автоматичне керування стрілочними переводами*. На залізничних вузлах системи автоматизації змінюють положення стрілок відповідно до встановлюваного маршруту руху, знижуючи ризик помилок персоналу. Результатом стало підвищення безпеки руху, зменшення кількості збоїв і аварій;

- *системи відеоспостереження та моніторингу стану інфраструктури*. Завдяки системі дистанційного моніторингу виявлено пошкодження на контактній мережі. Це допомогло запобігти аварії, адже проблема була оперативно усунена до проходження поїздів. Це забезпечило підтримку високого рівня безпеки через своєчасне втручання;

- *підтримка ухвалення рішень через інтерфейс людино-машинної взаємодії*. У складній погодній ситуації машиніст отримує рекомендації з оптимальної швидкості руху від автоматичної системи аналізу погодних

умов. Як наслідок, зниження ризику сходження поїзда з рейок через адаптацію руху до умов.

2. Негативний вплив ЛМС:

- *збої в автоматичних системах керування*. На одній із дільниць через програмну помилку система АТС неправильно розпізнала сигнал зупинки, і поїзд продовжив рух, що ледь не спричинило зіткнення. Це призвело до виникнення аварійної ситуації, яка була виправлена лише завдяки оперативному втручанню диспетчера;

- *надмірна довіра до автоматизації*. Диспетчер, покладаючись на автоматичний контроль, пропустив сигнал про несправність на залізничній колії. Система не мала резервної функції оповіщення, і проблема залишилася непоміченою. Наслідок – сходження вагонів із рейок через пошкоджену колію;

- *незручність або складність інтерфейсів ЛМС*. На новому пульті керування машиніст витратив більше часу на пошук потрібної команди, що затримало його реакцію на аварійну ситуацію. Наслідком стало погіршення безпеки через перевантаження оператора інформацією;

- *нестача навичок роботи з ЛМС персоналу*. У ситуації збою автоматичної системи черговий по станції не зміг вручну керувати стрілками через недостатню підготовку. При цьому відбулася затримка руху поїздів і ризик аварії через помилкове керування;

- *неправильна інтеграція технічних систем із роботою персоналу*. На одній із дільниць впроваджено систему, яка видавала занадто багато хибних сигналів про несправності. Це спричинило ігнорування реальних попереджень персоналом. Це призвело до втрати довіри до системи і підвищення ризику аварійних ситуацій.

Аналізуючи наведені приклади, слід зазначити, що позитивний вплив ЛМС на безпеку руху поїздів переважно пов’язаний з автоматизацією рутинних процесів, підвищенням точності, оперативністю. Водночас

недоліки, такі як збої, помилки у взаємодії людини з машиною або недостатня підготовка персоналу, можуть знижувати рівень безпеки. Для мінімізації негативних наслідків потрібні резервні системи, навчання персоналу та ретельне тестування технічних рішень перед впровадженням.

Ураховуючи негативні впливи ЛМС на забезпечення безпеки руху, потрібно вживати заходів як технічного, так і організаційного характеру для мінімізації цього впливу на безпеку руху. Серед основних із них виділяють такі:

1. Впровадження навчальних програм для підготовки персоналу до роботи із сучасними автоматизованими системами.

2. Покращення інтерфейсів взаємодії людини з машиною для підвищення зручності та надійності.

3. Регулярне технічне обслуговування автоматизованих систем та оновлення програмного забезпечення.

4. Розроблення нових алгоритмів взаємодії, які враховують як сильні, так і слабкі сторони людського фактора.

5. Застосування резервних систем для запобігання збоям.

Отже, людино-машинна система є важливим елементом залізничного транспорту, що безпосередньо впливає на безпеку руху. Взаємодія між технічними засобами та персоналом має бути базована на сучасних стандартах, інноваційних рішеннях і систематичному навчанні. Комплексний підхід щодо вдосконалення ЛМС дасть змогу зменшити кількість аварійних ситуацій і забезпечити високий рівень безпеки руху на залізницях.

Практична частина

Завдання 1

1. Проаналізувати реальний або гіпотетичний випадок порушення безпеки руху через порушення в системі ЛМС:

- чергова по станції А на пульті керування встановила зайнятість стрілочної секції, що брала участь у приготуванні маршруту відправлення пасажирського поїзда зі станції на перегін. Система ЕЦ не дала змогу підготувати маршрут через зайнятість стрілкової секції. ДСП, не зробивши запис у журналі ДУ-46, зірвала пломбу з кнопки допоміжного переведення стрілки і встановила маршрут відправлення. Рейкове коло, яке показувало зайнятість, було фактично зайнято маневровим локомотивом із вагонами. Відбулося бокове зіткнення пасажирського поїзда з маневровим складом.

2. Визначити основні фактори, що призвели до аварії.

3. Розробити пропозиції з удосконалення роботи ЛМС для підвищення безпеки в цьому конкретному випадку.

Завдання 2

1. Вибрати одну із запропонованих ситуацій:

- несправність системи сигналізації на станції або перегоні;
- людська помилка оператора (ДСП);
- збої в автоматизованих системах керування (ДЦ).

2. Описати можливі наслідки ситуації для безпеки руху.

3. Проаналізувати роль ЛМС для попередження або сприяння виникненню цієї ситуації.

Підсумкова частина

1. Обговорення труднощів, які виникли під час роботи.

2. Висновки щодо значення аналізу факторів безпеки та ролі ЛМС.

Домашнє завдання

1. Підготувати есе (одну-дві сторінки) за темою «Вплив ЛМС на зниження аварійності. Як поліпшення людино-машинної взаємодії може знизити ризики на залізничному транспорті?».

2. Підготувати презентацію (п'ять-сім слайдів), що включає:

- короткий опис випадку;
- виявлені проблеми та їхні причини;
- пропозиції щодо вдосконалення ЛМС.

Структура звіту

1. Вступ. Мета роботи, об’єкт дослідження.

2. Аналіз факторів впливу на безпеку руху.

3. Характеристика людино-машинної системи (ЛМС).

4. Практичний аналіз аварійної ситуації (завдання 1). Рекомендації щодо вдосконалення ЛМС: впровадження жорстких технічних блокувань, покращення алгоритмів взаємодії та регулярне тренажерне навчання.

5. Моделювання наслідків і ролі ЛМС (завдання 2). Аналіз вибраної ситуації (наприклад людська помилка ДСП або збій системи ДЦ). Оцінювання можливих наслідків для безпеки та ролі ЛМС у попередженні подібних інцидентів.

6. Заходи з мінімізації негативного впливу ЛМС. Технічні заходи: резервування систем, регулярне обслуговування ПЗ, покращення інтерфейсів. Організаційні заходи: нові програми навчання та інструктажі.

7. Висновки. Узагальнення значення ЛМС як критичного елемента залізничного транспорту. Підтвердження необхідності комплексного підходу (технології + навчання) для зниження аварійності.

Література [1-3].

ПРАКТИЧНА РОБОТА 2
ВИЗНАЧЕННЯ ТА АНАЛІЗ РИЗИКІВ НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ, КЕРУВАННЯ РИЗИКАМИ В ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМАХ

Мета заняття: ознайомити здобувачів із методами визначення та аналізу ризиків у транспортних системах залізничного транспорту, навчити використовувати інструменти керування ризиками для забезпечення безпеки та ефективності перевезень.

Теоретична частина

1. Вступ до керування ризиками

Ризик – це ймовірність виникнення події, яка може мати негативний вплив на функціонування системи.

До основних ризиків належать технічні несправності, помилки персоналу, природні катаклізми, терористичні акти тощо.

2. Основи аналізу ризиків

Ідентифікація ризиків – це виявлення потенційних загроз для безпеки транспортної системи.

Залізничний транспорт є однією з найбільш складних транспортних систем, що потребує уважного аналізу ризиків для забезпечення безпеки діяльності. Ідентифікація ризиків є першим етапом керування ризиками та має на меті виявлення потенційних загроз для системи та запобігання їхнім негативним наслідкам.

Сутність і основні класифікації ризиків

Ризики на залізничному транспорті поділяють на такі класи:

1. Технічні ризики:

- несправність пристрої залізничної автоматики, телемеханіки та зв'язку;

- вихід із ладу рухомого складу.

2. Людський фактор:

- помилки персоналу;

- психологічні або поведінкові фактори.

3. Природні і терористичні ризики:

- погодні умови (зсуви, снігові замети);

- акти незаконного втручання в роботу залізничного транспорту.

Процес ідентифікації ризиків

1. Збір інформації:

- аналіз нормативних документів;

- перегляд аварійних ситуацій і їхніх причин.

2. Оцінювання ймовірності та впливу: створення таблиці пріоритетності ризиків.

3. Використання інструментів:

- SWOT-аналіз;

- метод «дерево відмов».

Ідентифікація ризиків є основою для створення ефективних систем керування безпекою на залізниці. Комплексний підхід щодо аналізу та оцінювання ризиків дає змогу скоротити ймовірність негативних подій і забезпечити сталий розвиток транспортних систем.

Аналіз імовірності та впливу – це оцінювання частоти і наслідків виникнення ризикових ситуацій.

Інструменти аналізу:

- SWOT-аналіз;

- метод «дерево відмов»;

- методика FMEA (аналіз видів і наслідків відмов).

SWOT-аналіз (переваги та недоліки, можливості та загрози) – популярний метод стратегічного аналізу для виявлення внутрішніх і зовнішніх факторів, що впливають на розвиток системи або організації.

SWOT-аналіз складається з чотирьох основних елементів:

1. Переваги (засоби та можливості, що позитивно впливають на систему).

2. Недоліки (потенційні проблеми або обмеження).

3. Можливості (зовнішні фактори, що сприяють розвитку).

4. Загрози (потенційні негативні зовнішні фактори).

SWOT-аналіз потрібен для стратегічного планування, виявляючи області, де потрібно зосередити зусилля.

Приклади використання SWOT-аналізу на залізничному транспорті зведені в табл. 2.1.

Таблиця 2.1

Приклад SWOT-аналізу для залізничного транспорту

Переваги	**Недоліки**
Висока пропускна спроможність транспортних систем	Застарілі технології та інфраструктура
Значна площа покриття мережею	Недостатність фінансування на оновлення
Низький рівень викидів вуглецю порівняно з альтернативними видами транспорту	Невисока кваліфікація персоналу
Можливості	**Загрози**
Розвиток альтернативних джерел енергії	Конкуренція з автомобільним транспортом
Цифровізація та автоматизація систем	Кризи енергосистем і сировинних ресурсів
Поліпшення логістичних ланцюгів	Збільшення регуляторних вимог

Висновки. На основі побудованої матриці SWOT-аналізу сформовано комплексний стратегічний прогноз, який базований на взаємодії внутрішніх і зовнішніх факторів транспортної системи для забезпечення безпеки і сталого розвитку залізничної інфраструктури. Висока пропускна спроможність і значне покриття наявної мережі АТ «Укрзалізниця» створюють фундаментальну базу для масштабної цифровізації та

автоматизації технологічних процесів, що разом з екологічними перевагами залізничного транспорту дає змогу посилити його позиції як провідного «зеленого» логістичного ланцюга, інтегрованого до європейської транспортної системи. При цьому процеси впровадження мікропроцесорних централізацій, диспетчерського керування та елементів штучного інтелекту мають стати головним інструментом для нівелювання ризиків, пов'язаних із застарілою технічною інфраструктурою та обмеженим фінансуванням її повного оновлення. Наявний брак кваліфікації лінійного персоналу та ризики людського помилкового фактора пропонують компенсувати розробленням інтелектуальних систем підтримки ухвалення інженерних рішень і запуском новітніх тренажерних комплексів. Для успішної конкуренції з автомобільним транспортом залізниця має максимально реалізувати свій потенціал високої пропускної спроможності, гарантуючи користувачам вищу регулярність, безпеку та енергоефективність перевезень. Масштабність мережі також дає змогу гнучко перенаправляти транспортні потоки в умовах криз енергосистем і дефіциту сировинних ресурсів, використовуючи поліпшені схеми автономного живлення вузлових станцій. Оскільки поєднання застарілих технологій із жорсткою ринковою конкуренцією та загрозою енергетичних збоїв створює критичні ризики для безпеки руху, стратегічно необхідним стає залучення цільових інвестицій і впровадження систем предиктивної діагностики на базі машинного навчання, що допоможе ефективно попереджати відмови пристроїв сигналізації, централізації та блокування за умов жорстких бюджетних обмежень.

Метод «дерево відмов» (FTA) являє собою графічний метод аналізу причино-наслідкових зв'язків у системі. Його основна мета – визначити точки негативного впливу, що потрібно знизити або унеможливити.

Метод «дерево відмов» використовують для аналізу причин відмов системи через побудову графічного зображення, що ієрархічно демонструє

взаємозв'язки між потенційними відмовами компонентів і кінцевою відмовою системи.

Приклад застосування методу для залізничного транспорту

Об'єкт: мікропроцесорна (МП) автоматична сигналізація залізничного переїзду.

Головна подія: небезпечний збій МП системи сигналізації (хибне відкриття переїзду з наближенням поїзда).

Причини відмови на верхньому рівні:

- відмова електропостачання;
- відмова контролера системи;
- механічна несправність сигнальних ліхтарів.

Деталізація причин:

1. Відмова електропостачання:
- переривання кабелю живлення;
- несправність резервного джерела живлення.

2. Відмова контролера системи:
- помилка програмного забезпечення;
- перегрів компонентів контролера.

3. Механічна несправність сигнальних пристроїв:
- руйнування корпусу через корозію;
- вихід із ладу ламп або світлодіодів.

Діаграма дерева відмов наведена на рис. 2.1.

Висновок. Метод FTA допомагає визначити ймовірність виникнення відмови системи, аналізуючи всі можливі причини на різних рівнях. Для сигнальної системи залізничного переїзду важливо забезпечити:

- резервування джерел живлення;
- регулярну перевірку програмного забезпечення і стану контролера;
- захист від корозії і своєчасну заміну несправних компонентів.

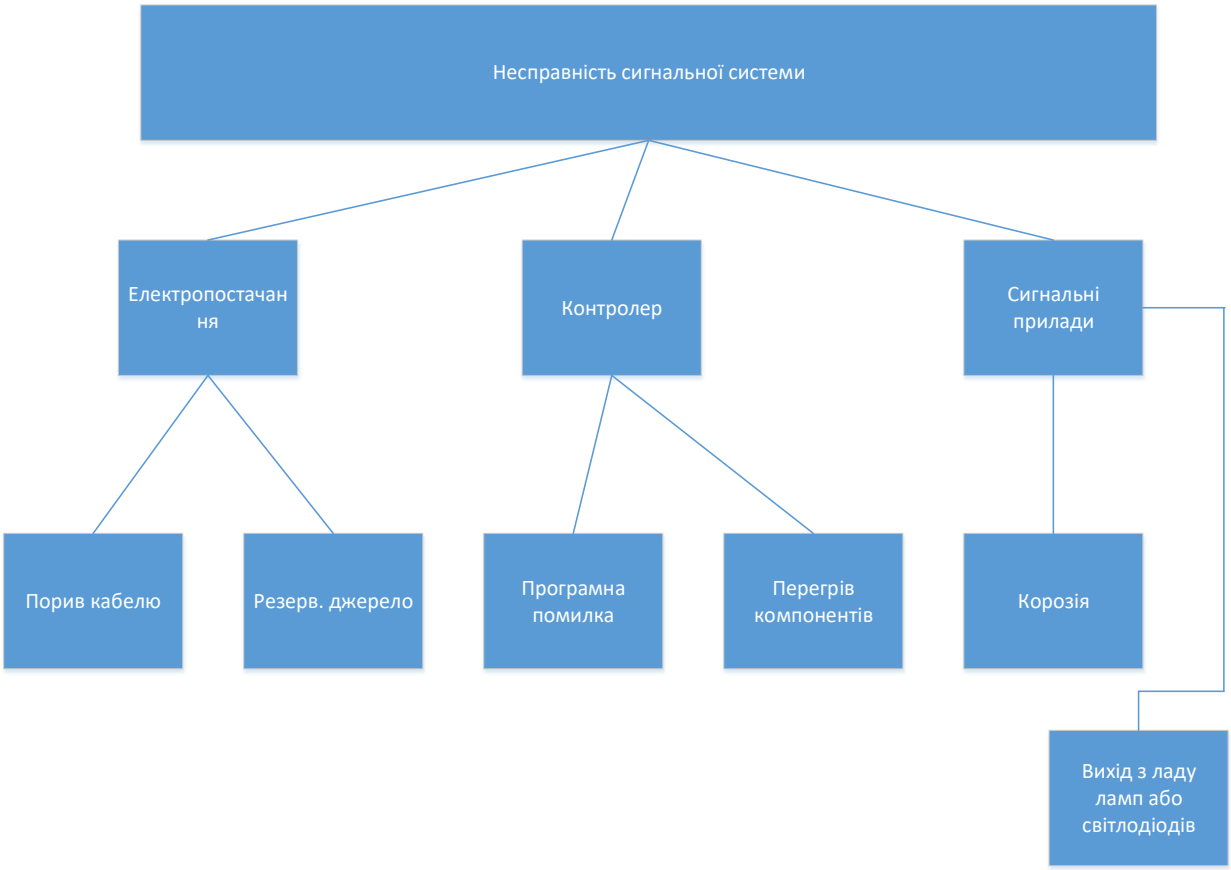


Рис. 2.1. Діаграма дерева відмов

Методика оцінювання ризиків за допомогою FMEA

FMEA (Failure Modes and Effects Analysis) – це методика, яка дає змогу ідентифікувати потенційні види відмов у системі, оцінити їхні наслідки та розробити заходи для мінімізації ризиків. Методику широко застосовують у різних галузях, включаючи залізничний транспорт, де безпека є критично важливим аспектом.

Основні етапи методу FMEA

Визначення об’єкта аналізу: вибирають систему, процес або компонент, який будуть аналізувати (наприклад гальмівна система локомотива).

Ідентифікація видів відмов: складають перелік можливих видів відмов, які можуть виникнути у вибраній системі (наприклад втрата гальмівного зусилля).

Оцінювання наслідків відмов: визначають вплив кожного виду відмови на роботу системи або на безпеку пасажирів і персоналу.

Визначення причин відмов: аналізують причини, які можуть спричинити відмову (наприклад зношення компонентів або програмна помилка).

Оцінювання ризиків: оцінюють із використанням трьох основних параметрів:

- важливість (Severity, S):(наскільки серйозними є наслідки відмови;

- імовірність виникнення (Occurrence, O): частота виникнення відмови;

- виявлення (Detection, D): наскільки легко виявити проблему до її настання;

- розрахунок пріоритетної кількості ризику (Risk Priority Number, RPN).

4. Розроблення заходів для мінімізації ризиків. На основі результатів оцінювання розробляють дії, спрямовані на зниження значень S, O або D (наприклад впровадження регулярного технічного обслуговування).

Приклад застосування FMEA на залізничному транспорті наведено в табл. 2.2.

Таблиця 2.2

Об’єкт аналізу: гальмівна система пасажирського поїзда

Вид відмови	**Наслідки**	**Причини**	**S**	**O**	**D**	**RPN**	**Заходи**
Втрата гальмівного зусилля	Зіткнення, аварія	Зношення гальмівних колодок	10	4	3	120	Регулярна перевірка і заміна колодок
Затримка гальмування	Зростання гальмівного шляху	Гідравлічний витік	8	3	4	96	Встановлення датчиків для контролю тиску
Перегрів гальмівної системи	Втрата ефективності, пошкодження обладнання	Надмірне навантаження	7	2	5	70	Оптимізація розподілу навантаження

Переваги використання FMEA

Прогнозування ризиків: методика дає змогу заздалегідь визначити потенційні проблеми.

Систематичний підхід: чітка структура аналізу забезпечує всебічний розгляд усіх аспектів.

Пріоритезація: використання RPN допомагає зосередитися на найкритичніших ризиках.

Поліпшення безпеки: впровадження заходів на основі аналізу значно знижує ймовірність аварій.

Висновок. Методика FMEA є потужним інструментом для керування ризиками на залізничному транспорті. Її застосування сприяє підвищенню безпеки, зменшенню ймовірності аварійних ситуацій та ефективному використанню ресурсів для запобігання відмовам. Регулярний аналіз і оновлення заходів відповідно до виявлених ризиків допомагають підтримувати високий рівень надійності транспортної системи.

3. Керування ризиками

Методи мінімізації ризиків:

- технічне обслуговування та модернізація обладнання;
- навчання та інструктаж персоналу;
- впровадження автоматизованих систем контролю.

Планування дій у надзвичайних ситуаціях:

- розроблення протоколів реагування;
- проведення навчальних тренувань.

4. Нормативно-правове забезпечення:

- основні нормативні документи, що регулюють безпеку на залізничному транспорті;
- міжнародні стандарти керування ризиками (ISO 31000, IEC 61508).

Завдання для виконання на занятті

1. Ідентифікація ризиків:

1.1. Переглянути відеоматеріал про аварії на залізничному транспорті.

1.2. Визначити основні ризики, які призвели до кожного випадку.

2. SWOT-аналіз:

2.1. Провести SWOT-аналіз для умовної залізничної станції або іншого об’єкту за варіантом.

2.2. Результати оформити у вигляді таблиці.

3. Оцінювання ризиків за допомогою FMEA:

3.1. Заповнити таблицю FMEA для одного з виявлених ризиків.

3.2. Визначити пріоритети ризику.

4. Розроблення плану керування ризиками:

4.1. На основі проведеного аналізу запропонувати заходи для мінімізації ризиків.

4.2. Оформити план у вигляді презентації (шість-вісім слайдів).

Завдання для складання звіту

Вступ: короткий опис мети і завдань заняття.

Ідентифікація ризиків: список ризиків із зазначенням джерела їх виникнення.

SWOT-аналіз: таблиця SWOT-аналізу та висновки щодо переваг і недоліків, можливостей і загроз.

FMEA-аналіз: заповнена таблиця FMEA з розрахованим пріоритетом ризику.

План керування ризиками: опис запропонованих заходів, графік їх реалізації та очікувані результати.

Висновки. Узагальнення отриманих результатів і рекомендації щодо впровадження системи керування ризиками.

Додатки: презентація; схеми або таблиці, використані під час виконання завдань.

Варіанти завдання наведені в табл. 2.3.

Таблиця 2.3

Варіант 1	Проміжна станція, обладнана ЕЦ
Варіант 2	Сортувальна станція першого класу, обладнана БМРЦ
Варіант 3	Переїзд першої категорії, охоронний, обладнаний АПС
Варіант 4	Переїзд другої категорії, неохоронний, обладнаний світлофорною і звуковою сигналізацією
Варіант 5	Двоколійний перегін, обладнаний кодовим автоблокуванням
Варіант 6	Двоколійний перегін, обладнаний АБТЦ без прохідних світлофорів
Варіант 7	Одноколійний перегін, обладнаний НАБ

Структура звіту

1. Вступ. Мета роботи, об'єкт дослідження.

2. Теоретичні основи керування ризиками.

3. Методологія аналізу та оцінювання ризиків.

4. Практична частина: аналіз конкретних сценаріїв (за варіантом).

5. Розроблення стратегій керування та мінімізації ризиків.

6. Використання штучного інтелекту для автоматичного розпізнавання перешкод на переїзді (для варіантів 3 і 4) або предиктивного FMEA-аналізу стану стрілок за допомогою машинного навчання (для варіантів 1 і 2).

7. Висновки. Оцінювання ефективності запропонованих заходів з керування ризиками. Роль системного підходу для забезпечення стратегічної безпеки залізничного транспорту України.

Література [1, 2].

ПРАКТИЧНА РОБОТА 3
АНАЛІЗ ПЕРЕВАГ І НЕДОЛІКІВ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ БЕЗПЕКОЮ РУХУ НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ У СВІТІ ТА В УКРАЇНІ

Мета роботи: поглибити теоретичні знання та розвинути навички критичного аналізу під час оцінювання систем керування безпекою руху на залізниці. Сприяти формуванню вміння здобувачів проводити порівняльний аналіз та об'єктивно оцінювати переваги і недоліки різних моделей керування.

Теоретичний матеріал

Системи керування безпекою руху на залізницях різних країн: приклади, переваги та недоліки

1. ERTMS (European Rail Traffic Management System).

ERTMS є єдиною європейською системою керування рухом, яка складається з рівнів контролю руху поїздів (ETCS) і системи мобільного зв'язку GSM-R. Вона використовувана у країнах ЄС, таких як Німеччина, Франція, Італія та інші.

Переваги:

- уніфікація залізничних стандартів для країн ЄС;
- підвищення ефективності руху завдяки автоматизації контролю;
- мінімізація ризиків людської помилки через централізоване керування.

Недоліки:

- висока вартість впровадження та обслуговування;
- тривалий перехідний період для модернізації національних систем;
- залежність від стабільності радіозв'язку стандарту GSM-R.

2. PTC (Positive Train Control).

PTC запроваджена на залізницях США для запобігання зіткненням поїздів, перевищенням швидкості та несанкціонованому виходу рухомого складу на зайняті колії.

Переваги:

- ефективне зниження кількості аварій, що викликані людським фактором;

- моніторинг і контроль руху в реальному часі;

- адаптація для змішаних вантажних і пасажирських перевезень.

Недоліки:

- висока вартість реалізації (за оцінками, впровадження PTC коштувало понад 15 млрд дол.);

- обмежена інтеграція зі старими (існуючими) системами;

- необхідність оновлення інфраструктури для забезпечення сумісності.

3. ATACS (Advanced Train Administration and Communication System).

ATACS є вдосконаленою системою керування поїздами, що використовує бездротовий зв'язок для передавання інформації між поїздами та центром керування.

Переваги:

- висока точність і надійність роботи;

- оптимізація графіків руху через швидке передавання даних;

- екологічність і енергоефективність завдяки автоматизованому регулюванню швидкості.

Недоліки:

- висока залежність від технологій зв'язку;

- додаткові витрати на забезпечення захисту від кібератак;

- обмежене використання на лініях із малою інтенсивністю руху.

4. ETCS Level 2/ Level 3 (Швейцарія).

Швейцарія є піонером у використанні сучасних рівнів системи ETCS, які передбачають рух без напільних світлофорів із використанням точного позиціонування поїздів.

Переваги:

- максимальна пропускна спроможність колій;

- відсутність колійних світлофорів, що знижує витрати на їх обслуговування;

- підвищена гнучкість у використанні інфраструктури.

Недоліки:

- необхідність повної відповідності рухомого складу стандартам системи;

- потреба в досконалих засобах резервного керування;

- вразливість до збоїв у системі позиціонування та передавання даних.

5. CTC (Centralized Traffic Control) (Австралія).

Система диспечерської централізації (ДЦ) широко використовувана на залізницях Австралії для керування вантажними та пасажирськими перевезеннями.

Переваги:

- простота впровадження на протяжних і малозавантажених ділянках;

- економічна ефективність для регіональних залізниць;

- швидкість реагування на надзвичайні ситуації завдяки централізованому диспетчерському управлінню.

Недоліки:

- обмежена адаптація для високоінтенсивних пасажирських перевезень;

- залежність від надійності зв'язку між диспетчерами та поїздами;

- відсутність вбудованих функцій автоматичного повного запобігання зіткненням без додаткових підсистем локомотивної сигналізації.

Аналіз міжнародних систем керування безпекою руху демонструє, що країни з високим рівнем автоматизації, такі як Японія та Швейцарія, досягають найбільшої безпеки та ефективності. Однак високі витрати на впровадження та залежність від технологій залишаються загальними викликами. Для України актуальним є поступове впровадження елементів ERTMS з урахуванням національної специфіки та економічних можливостей.

Сучасні підходи щодо організації безпеки руху на залізницях в Україні

Цифровізація систем керування рухом

Одним із сучасних підходів щодо організації безпеки є впровадження автоматизованих систем керування рухом поїздів (АСУ РП) і мікропроцесорних систем залізничної автоматики. В Україні впроваджують системи, сумісні з європейською ERTMS (European Rail Traffic Management System), що дає змогу підвищити точність контролю за рухом поїздів, зменшити вплив людського фактора і забезпечити сумісність із міжнародними стандартами для подальшої інтеграції в європейську транспортну систему.

На окремих ділянках головних транспортних коридорів України вже опрацьовані технічні рішення із впровадження елементів ERTMS Level 2, які допомагають автоматизувати контроль швидкості, визначати відстані між поїздами та передавати сигнали безпосередньо в кабіну машиніста.

Впровадження системи моніторингу технічного стану інфраструктури

Інноваційні підходи включають використання сучасних засобів моніторингу для оцінювання стану залізничних колій, мостів і контактної мережі. Ці технології включають використання дронів для інспекції важкодоступних ділянок, встановлення сенсорів на рейках для моніторингу їхнього стану в реальному часі, а також перспективнй аналіз даних за допомогою штучного інтелекту для прогнозування поломок.

У рамках співпраці з міжнародними організаціями на кількох ділянках залізничної мережі впроваджували пілотні проєкти з використанням дронів для інспекції мостів і тунелів.

Автоматизація діагностики рухомого складу

Стан рухомого складу безпосередньо впливає на безпеку перевезень. Українські залізниці експлуатують і модернізують автоматизовані системи для діагностики локомотивів і вагонів, такі як:

- системи контролю осьових навантажень;

- засоби автоматичного контролю технічного стану ходових частин (дистанційне виявлення перегріву буксових вузлів);

- виявлення дефектів колісних пар за допомогою акустичного моніторингу.

На станціях Київ-Пасажирський, Львів та інших важливих вузлах встановлено системи автоматичного контролю температури букс, що дає змогу вчасно виявляти перегрів вузлів тертя і уникати аварій.

Підвищення рівня підготовки персоналу

Людський фактор залишається одним із найбільших ризиків відносно забезпечення безпеки руху. Для його мінімізації застосовують постійне підвищення кваліфікації працівників через тренажери і симулятори, проводять регулярні навчання для диспетчерів, машиністів і ремонтного персоналу, розробляють інтерактивні платформи для навчання правил безпеки.

У навчальних центрах АТ «Укрзалізниця» впроваджено тренажери для машиністів, що імітують реальні умови роботи, включно з діями в надзвичайних ситуаціях.

Інтеграція міжнародного досвіду

Україна активно переймає досвід країн ЄС, США і Японії в таких напрямах, як впровадження автоматичних систем контролю швидкості поїздів, використання сучасних сигналізаційних систем для швидкісних поїздів, а також інтеграція елементів керування безпекою на рівні всієї транспортної системи.

Наразі програми модернізації залізничної інфраструктури орієнтовані на зростання швидкостей і підвищення безпеки руху поїздів.

Сучасні підходи щодо організації безпеки руху на залізницях в Україні ґрунтовані на поєднанні інноваційних технологій, автоматизації, підвищення кваліфікації персоналу та інтеграції з міжнародними стандартами. Продовження впровадження цих методів є запорукою підвищення ефективності та надійності залізничного транспорту в умовах зростаючих вимог щодо безпеки і швидкості перевезень. Важливим напрямом залишається адаптація міжнародного досвіду до національних реалій з урахуванням економічних та інфраструктурних особливостей України.

Завдання для виконання практичної роботи

1. Ознайомитися з теоретичними матеріалами про системи керування безпекою руху на залізницях в різних країнах.

2. Дослідити сучасні підходи щодо організації безпеки руху на залізницях в Україні.

3. Визначити основні переваги та недоліки кожної з систем, беручи до уваги поточні технічні, організаційні та економічні аспекти.

4. Порівняти системи з метою виявлення найбільш ефективних підходів щодо керування безпекою руху.

5. Дослідити системи ERTMS (Європа) і PTC (США):

– визначити їхні головні функції та технічні особливості;

– порівняти переваги та недоліки цих систем у контексті їхньої адаптації для залізничної мережі України;

– запропонувати можливі шляхи інтеграції окремих елементів цих систем в Україні.

6. На основі аналізу впровадження елементів ERTMS Level 2 в Україні:

– оцінити технічні та економічні переваги автоматизації для залізничного транспорту;

– визначити ризики, пов'язані з впровадженням цієї системи в умовах української інфраструктури.

7. Розглянути систему контролю стану рухомого складу, яка використовувана в Україні (наприклад системи контролю температури букс), і запропонувати способи її модернізації; порівняти з аналогічними технологіями, використовуваними в Японії чи Швейцарії.

8. На прикладі сучасних навчальних практик АТ «Укрзалізниця» (тренажери для машиністів):

– оцінити ефективність впроваджених методів підготовки;

– розробити пропозиції з використання симуляторів для інших професій залізничної галузі;

– визначити, як впровадження системи моніторингу технічного стану колій (дрони, сенсори) вплине на скорочення витрат на обслуговування та підвищення рівня безпеки руху;

– порівняти очікувані результати з даними країн, які вже використовують ці технології;

– розробити план поетапного впровадження елементів міжнародних систем керування безпекою в Україні з урахуванням таких аспектів, як фінансові можливості, стан наявної інфраструктури та необхідність підготовки персоналу.

9. Підготувати звіт за результатами дослідження та запропонувати шляхи удосконалення системи безпеки руху на залізницях України.

Структура звіту

1. Вступ. Мета роботи, актуальність.
2. Порівняльний аналіз світових систем керування безпекою.
3. Сучасний стан і цифровізація безпеки руху в Україні.
4. Дослідницька частина (виконання завдань).
5. План поетапного впровадження міжнародних стандартів в Україні.
6. Висновки та рекомендації.

Література [1, 4].

ПРАКТИЧНА РОБОТА 4
ВИЗНАЧЕННЯ ПРИНЦИПІВ БЕЗПЕЧНОЇ ПОБУДОВИ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ШВИДКІСНИХ І ВИСОКОШВИДКІСНИХ МАГІСТРАЛЕЙ, ОЦІНЮВАННЯ ЇХНЬОГО ВПЛИВУ НА БЕЗПЕКУ РУХУ

Мета практичної роботи

1. Ознайомити здобувачів з основними принципами безпечного проєктування технічних засобів швидкісного залізничного транспорту.
2. Вивчити вимоги щодо технічних засобів, що гарантують безпеку руху.
3. Проаналізувати вплив технічних засобів на безпеку руху в умовах швидкісних і високошвидкісних магістралей.
4. Вивчити нормативно-технічні документи з проєктування та експлуатації технічних засобів швидкісного залізничного транспорту.
5. Ознайомити здобувачів із сучасними системами автоматизації та керування рухом на швидкісних магістралях (ERTMS, ETCS тощо).

Теоретична частина

Залізнична автоматика відіграє головну роль у забезпеченні ефективності, безпеки та надійності залізничного транспорту. Технічні засоби залізничної автоматики базовані на низці принципів, які визначають їхню конструкцію, функціонування та взаємодію. Розглянемо основні принципи побудови таких систем.

1. Принцип безпеки. Цей принцип передбачає, що всі технічні засоби залізничної автоматики мають гарантувати максимально можливий рівень безпеки руху поїздів. Реалізації цього принципу досягають за рахунок:

- використання резервних (дублюючих) систем для зниження ризику відмов;

- контролю технічного стану обладнання в реальному часі;

- виключення помилкових команд завдяки багаторівневій перевірці.

2. Принцип надійності. Системи залізничної автоматики мають працювати безперебійно в умовах інтенсивної експлуатації. Їхньої надійності досягають за рахунок:

- використання високоякісних матеріалів і компонентів;

- підтримки стандартів технічного обслуговування;

- регулярної перевірки і тестування систем.

Автоматизовані системи мають забезпечувати безперебійне функціонування за будь-яких умов, включаючи аварійні ситуації. Надійність обладнання має бути підтверджена результатами випробувань і відповідати міжнародним стандартам, таким як IEC 61508 (функціональна безпека). Системи мають автоматично виявляти і усувати несправності, що можуть призвести до аварій.

3. Принцип сумісності. Системи залізничної автоматики мають бути сумісними з іншими технічними засобами залізничного транспорту:

- використання єдиних стандартів і протоколів передавання даних;

- можливість інтеграції з існуючими системами без значних змін у їхній архітектурі;

- безперебійна взаємодія між різними системами (сигналізацією, зв'язком, енергопостачанням).

Нові системи автоматики мають бути сумісними з існуючими технічними засобами та програмним забезпеченням; підтримувати стандарти, наприклад ERTMS (European Rail Traffic Management System), для забезпечення міжнародної сумісності.

4. Принцип енергоефективності. Автоматизовані системи мають бути економічними у використанні енергоресурсів. Цього досягають:

- використанням енергоефективних компонентів;

- оптимізацією алгоритмів роботи систем;

- використанням відновлюваних джерел енергії.

5. Принцип автоматизації. Основною метою залізничної автоматики є зменшення впливу людського фактора у процесі керування рухом поїздів. Цього можна досягнути такими заходами:

- розробленням автономних систем керування рухом;

- використанням штучного інтелекту для прогнозування ситуацій;

- можливістю дистанційного керування та моніторингу.

6. Принцип модульності. Модульний підхід у системах залізничної автоматики дає змогу створювати гнучкі та масштабовані системи. Основні аспекти цього принципу:

- конструювання систем із взаємозамінних модулів;

- спрощення процесу модернізації та технічного обслуговування;

- локалізація відмов у межах окремих модулів.

7. Принцип ергономічності. Системи залізничної автоматики мають бути зручними для експлуатації та обслуговування. Ергономічність забезпечена:

- інтуїтивно зрозумілим інтерфейсом користувача;

- легкодоступністю основних компонентів для обслуговування;

- мінімізацією фізичного та психологічного навантаження на оператора.

8. Принцип адаптивності. Сучасні системи залізничної автоматики мають бути здатними адаптуватися до змінних умов експлуатації. Адаптивності досягають насамперед:

- використанням алгоритмів самонавчання;

- можливістю налаштування параметрів системи залежно від поточної ситуації;

- інтеграцією з інтелектуальними системами аналізу даних.

9. Захист від кіберзагроз. Системи повинні мати засоби кібербезпеки для захисту їх від зовнішніх атак. У них мають відбуватися регулярні оновлення програмного забезпечення та моніторинг кіберзагроз.

10. Реакція на аварійні ситуації. Автоматизовані системи мають миттєво реагувати на аварійні ситуації, зупиняти рух поїздів і повідомляти диспетчерський центр про проблему. У них має бути реалізована система резервування для забезпечення безперебійної роботи.

Отже, основні принципи побудови технічних засобів залізничної автоматики формують основу для створення ефективних, безпечних і надійних систем, здатних забезпечити сучасні вимоги щодо експлуатації залізничного транспорту. Їх дотримання є критично важливим для розвитку залізничної інфраструктури та впровадження новітніх технологій.

Аналіз впливу технічних засобів на безпеку руху в умовах швидкісних і високошвидкісних магістралей

Швидкісні та високошвидкісні магістралі є однією з важливих складових сучасної транспортної інфраструктури. Забезпечення безпеки руху на таких магістралях є пріоритетним завданням, вирішення якого залежить від ефективності технічних засобів, їхньої надійності та відповідності сучасним вимогам. До технічних засобів швидкісних магістралей висувають такі вимоги:

1. Надійність. Технічні засоби мають працювати безвідмовно протягом усього терміну експлуатації. Високого рівня надійності досягають використанням якісних матеріалів, регулярним технічним обслуговуванням та моніторингом стану обладнання.

2. Безпека. Усі системи мають відповідати міжнародним і національним стандартам безпеки. Це включає резервування критичних компонентів, автоматичне виявлення несправностей і можливість їх оперативного усунення.

3. Інтеграція з іншими системами. Технічні засоби мають бути сумісними з іншими елементами інфраструктури, зокрема системами сигналізації, диспетчеризації та енергопостачання.

4. Стійкість до впливу зовнішніх факторів. Обладнання має ефективно працювати за будь-яких погодних умов, а також бути стійким до вібрацій, пилу та інших шкідливих впливів.

Основними технічними засобами, які використовують на швидкісних і високошвидкісних магістралях, є:

- *системи сигналізації та централізації*. Ці системи допомагають безпечно керувати рухом поїздів і забезпечують координацію їхнього руху. Також вони попереджають можливі конфлікти на залізничних коліях. Наприклад, пристрої контролю регулювання швидкості дають змогу диспетчеру оперативно реагувати на зміни ситуації;

- *автоматизовані системи керування рухом* (АСУ). Включають системи, що аналізують і прогнозують маршрути руху поїздів, забезпечують безпечну швидкість і запобігають зіткненням. Прикладом є європейська система керування залізничним рухом (ERTMS);

- *рейкові кола та системи виявлення рухомого складу*. Вони забезпечують визначення місцезнаходження поїзда, контроль його швидкості, забезпечують захист від людських помилок;

- *системи екстреного гальмування.* Встановлюють на випадок виникнення небезпечної ситуації. Автоматичне або дистанційне гальмування дає змогу уникнути зіткнень.

Вплив технічних засобів на безпеку

Зменшення аварійності. Використання сучасних систем автоматизації знижує ризик виникнення аварій за рахунок усунення людського фактора.

Підвищення точності та швидкості ухвалення рішень. Автоматизовані системи значно швидше реагують на небезпечні ситуації, ніж людина, що дає змогу оперативно вживати заходів.

Моніторинг і аналіз даних. Завдяки вбудованим системам моніторингу можна здійснювати постійний контроль за станом обладнання, що сприяє прогнозуванню несправностей і їх своєчасному усуненню.

Екологічна безпека. Сучасні технічні засоби сприяють зниженню енергоспоживання, що позитивно впливає на навколишнє середовище.

Технічні засоби є важливим елементом забезпечення безпеки на швидкісних і високошвидкісних магістралях. Їх впровадження сприяє зниженню ризиків аварій, підвищенню ефективності роботи залізничного транспорту, забезпеченню комфортних умов для пасажирів. Для подальшого розвитку цих засобів потрібно враховувати сучасні вимоги щодо інтеграції, безпеки та екологічності.

Нормативно-технічні документи з проєктування та експлуатації технічних засобів швидкісного залізничного транспорту

Ці документи охоплюють різні аспекти, включаючи проєктування, безпеку, технічне обслуговування та експлуатацію:

- ДСТУ EN 50126-1:2018 «Залізнична автоматика і зв’язок. Технічні вимоги до надійності, готовності, обслуговуваності та безпеки (RAMS)». Визначає загальні вимоги щодо безпеки та надійності технічних засобів залізничного транспорту;

- ДСТУ EN 50129:2019 «Залізнична автоматика і зв’язок. Системи зв'язку, сигнальні та обчислювальні системи безпеки». Стандартизує вимоги щодо проєктування та аналізу безпеки залізничних систем;

- ДСТУ EN 50238:2020 «Сумісність сигналізації на залізничному транспорті». Регламентує сумісність технічних засобів з існуючою інфраструктурою залізничного транспорту;

- Європейський технічний стандарт взаємодії (TSI). Охоплює вимоги щодо підсистем інфраструктури, енергопостачання, рухомого складу, керування та сигналізації на швидкісних магістралях;

- ДБН В.2.3-19:2018 «Споруди транспорту. Залізниці колії 1520 мм. Проєктування». Встановлює основні положення з проєктування залізничної інфраструктури, включаючи швидкісні та високошвидкісні магістралі;

- Інструкція із сигналізації на залізничному транспорті України Регламентує використання сигналізації, сигнальних пристроїв і систем керування рухом на магістралях;

- Інструкція з експлуатації швидкісних магістралей Укрзалізниці. Визначає правила експлуатації та технічного обслуговування швидкісної інфраструктури;

- Закон України «Про залізничний транспорт». Надає загальні вимоги щодо функціонування залізничного транспорту, включаючи аспекти безпеки та взаємодії з технічними засобами;

- Правила технічної експлуатації залізниць України (ПТЕ). Встановлюють вимоги щодо утримання та експлуатації залізничних колій, технічних засобів автоматики і телемеханіки;

- Інструкція з технічного обслуговування та ремонту пристроїв автоматики і телемеханіки. Визначає порядок обслуговування та ремонту технічних засобів, що гарантують безпеку руху поїздів.

Практична частина:

- визначити основні принципи побудови технічних засобів на прикладі вибраного елемента за варіантом завдання (наприклад системи сигналізації, стрілочних переводів або контактної мережі);

- оцінити їхній вплив на безпеку руху з використанням отриманих даних;

- розробити рекомендації щодо підвищення ефективності та безпеки роботи технічних засобів.

Хід виконання роботи

1. Підготовка:

- отримати завдання та матеріали для заняття;

- ознайомитися з методичними матеріалами;

- вивчити основні принципи проєктування та експлуатації технічних засобів.

2. Виконання практичної частини.

Вибір об’єкта аналізу:

- вибрати елемент інфраструктури для дослідження за варіантом завдання;

- проаналізувати характеристики вибраного елемента;

- визначити його вплив на безпеку руху (наприклад ризики збоїв або помилок у роботі);

- розробити заходи з покращення безпеки.

3. Узагальнення результатів: підготувати звіт із результатами дослідження (структура звіту наведена нижче).

Структура звіту

Титульний аркуш:

- назва роботи;

- прізвище та ім’я здобувача;

- група та курс.

Вступ:

- мета роботи;

- актуальність досліджуваної теми.

Основна частина:

- опис вибраного елемента;

- аналіз впливу на безпеку руху;

- рекомендації.

Висновки:

- узагальнення отриманих результатів;

- пропозиції щодо подальших досліджень.

Контрольні запитання

1. Які основні принципи побудови технічних засобів для швидкісних магістралей?

2. Як оцінити вплив технічного засобу на безпеку руху?

3. Які ризики пов’язані із застосуванням автоматизованих систем на швидкісних магістралях?

Варіанти завдань для визначення основних принципів побудови технічних засобів залізничної автоматики та телемеханіки

Варіант 1. Система сигналізації

1. Розробити функціональну схему автоматизованої системи сигналізації для швидкісних магістралей з урахуванням резервування основних компонентів.

2. Проаналізувати надійність системи сигналізації із застосуванням методів розрахунку відмовостійкості технічних засобів.

3. Описати принципи інтеграції систем сигналізації з телемеханічними системами керування рухом.

4. Побудувати логічний алгоритм роботи системи у випадку збоїв у роботі сенсорів або комунікаційного обладнання.

Варіант 2. Стрілочні переводи

1. Описати принципи автоматизованого керування стрілочними переводами з використанням сучасних алгоритмів телемеханіки.

2. Розробити схему взаємодії стрілочного привода із системою моніторингу технічного стану.

3. Виконати моделювання роботи стрілочного переводу в різних умовах руху.

4. Запропонувати заходи з підвищення надійності та швидкості роботи стрілочних механізмів у режимі інтенсивного руху.

Варіант 3. Автоматизовані системи керування рухом

1. Розробити концепцію побудови автоматизованої системи керування рухом з урахуванням інтеграції з іншими елементами автоматики.

2. Запропонувати методи захисту інформаційних потоків у системі керування рухом для запобігання втручанням.

3. Розрахувати часові затримки передавання даних між автоматизованими системами і технічними засобами.

4. Скласти послідовний алгоритм логіки роботи системи в разі виникнення аварійної ситуації або відмови одного з модулів керування.

Варіант 4. Система енергопостачання

1. Визначити принципи побудови автоматизованої системи моніторингу енергопостачання для забезпечення безперервної роботи технічних засобів автоматики.

2. Запропонувати схему резервного енергопостачання для критичних елементів автоматики.

3. Оцінити ефективність використання альтернативних джерел енергії для живлення технічних засобів автоматики.

4. Проаналізувати можливості автоматичного визначення пошкоджень у системах енергопостачання та алгоритми логічного вибору шляхів їх усунення.

Варіант 5. Система захисту від перевищення швидкості

1. Скласти алгоритм логічних кроків для автоматичного контролю швидкості з урахуванням взаємодії з бортовими системами поїзда.

2. Запропонувати схему резервування датчиків швидкості та оцінити їхній вплив на надійність системи захисту.

3. Описати процес інтеграції системи захисту з телемеханічними комплексами керування рухом.

4. Проаналізувати ефективність алгоритмів автоматичного гальмування у разі перевищення допустимої швидкості на магістралі.

Загальні вимоги для виконання завдань:

1. Використовувати сучасні підходи щодо побудови систем автоматики і телемеханіки.

2. Ураховувати специфіку швидкісних і високошвидкісних магістралей.

3. Подати результати у вигляді схем, графіків, блок-схем і логічних алгоритмів роботи.

4. Оцінити вплив вибраного технічного засобу на безпеку руху та інтеграцію з іншими елементами залізничної інфраструктури.

5. Проаналізувати відповідність систем нормативно-технічним вимогам.

Література [1, 4, 6-14].

ПРАКТИЧНА РОБОТА 5
ВИЗНАЧЕННЯ І АНАЛІЗ КРИТЕРІЇВ ВІДНЕСЕННЯ ЗАЛІЗНИЧНИХ ДІЛЬНИЦЬ ДО ШВИДКІСНИХ І ВИСОКОШВИДКІСНИХ

Мета заняття: ознайомити здобувачів з основними критеріями віднесення залізничних дільниць до швидкісних і високошвидкісних; розвинути вміння аналізувати технічні, економічні та експлуатаційні характеристики залізничних ліній.

Теоретичний матеріал

1. Основні поняття і визначення

Швидкісний рух – пасажирське перевезення на дільницях залізничного транспорту зі швидкістю 160-250 км/год (для модернізованих ліній) і до 250 км/год (для спеціально побудованих ліній).

Високошвидкісний рух – перевезення пасажирів зі швидкістю понад 250 км/год.

2. Критерії віднесення залізничних дільниць

Швидкісний і високошвидкісний залізничний транспорт є важливим елементом сучасної інфраструктури, що забезпечує ефективність перевезень, екологічність і комфорт. Для віднесення залізничних дільниць до категорії швидкісних або високошвидкісних рухів необхідно враховувати певні технічні параметри, які гарантують безпечний і надійний рух поїздів на високих швидкостях. Розглянемо основні критерії та параметри, що використовують для класифікації залізничних дільниць.

Технічні параметри залізничних дільниць

Швидкість руху

Швидкісний рух: залізничні дільниці, на яких забезпечена швидкість руху поїздів від 160 до 250 км/год.

Високошвидкісний рух: дільниці, де швидкість перевищує 250 км/год і може досягати 350-400 км/год.

Радіус кривих

- для швидкісних дільниць мінімальний радіус кривих становить 1200-2500 м;

- високошвидкісних дільниць радіус кривих збільшено до 4000-7000 м залежно від швидкості.

Стан колії. Колія має бути безстиковою або з мінімальною кількістю стиків. Потрібно використовувати спеціальні матеріали для рейок і шпал, що витримують високі динамічні навантаження.

Контактна мережа має забезпечувати стабільне струмознімання за швидкостей понад 160 км/год, що потребує спеціальної конструкції контактної мережі. Потрібно використовувати сучасні системи електроживлення з напругою 25 кВ змінного струму промислової частоти.

Системи сигналізації та безпеки. Системи сигналізації мають забезпечувати автоматичне регулювання руху поїздів із відображенням інформації в кабіні машиніста (без використання напільних світлофорів). Встановлення Європейської системи керування рухом поїздів (ERTMS) рівнів 2 або 3 для високошвидкісних дільниць.

Інфраструктура станцій. Станції повинні мати спеціальні платформи, адаптовані для швидкісних поїздів. Має бути організований зручний доступ для пасажирів та інтеграція з іншими видами транспорту.

Захисні огорожі та шумоізоляція. Для запобігання несанкціонованому доступу та зниження рівня шуму мають бути встановлені захисні огорожі та шумозахисні екрани.

Критерії вибору залізничних дільниць. Для визначення потенційних дільниць, які можуть бути модернізовані під швидкісний чи високошвидкісний рух, враховують такі фактори:

- існуючий пасажиропотік;

- перспективи економічного розвитку регіонів;

- технічний стан існуючої інфраструктури;

- можливість інтеграції з міжнародними транспортними мережами.

Отже, залізничні дільниці для швидкісного та високошвидкісного руху мають відповідати ряду технічних параметрів, які гарантують безпечність і комфортність перевезень. Урахування цих параметрів на етапі проєктування та модернізації є головним для забезпечення ефективності залізничного транспорту. Подальший розвиток таких дільниць сприятиме економічному зростанню, покращенню мобільності населення та інтеграції України у світову транспортну систему.

3. Системи сигналізації та автоматизації швидкісних і високошвидкісних магістралей

Швидкісний і високошвидкісний рух залізничного транспорту потребує високих стандартів безпеки, точності та надійності. Системи сигналізації та автоматизації відіграють головну роль, оскільки вони забезпечують керування рухом поїздів, моніторинг технічного стану інфраструктури та оперативне реагування на позаштатні ситуації.

Основні вимоги щодо систем сигналізації та автоматизації

Безпека:

- забезпечення безперервного контролю руху поїздів і запобігання аварійним ситуаціям;

- виявлення та блокування потенційно небезпечних сценаріїв (наприклад перевищення швидкості);

- високий рівень захисту від зовнішніх втручань і кіберзагроз.

Точність:

- забезпечення точного виявлення місцезнаходження рухомого складу (за допомогою рейкових кіл, лічильників осей або радіоканалів позиціонування);

- синхронізація роботи усіх елементів системи для уникнення затримок і збоїв.

Швидкодія:

- миттєве передавання даних для ухвалення рішень у режимі реального часу;

- здатність до швидкого реагування на зміни в ситуації на дільниці.

Сумісність:

- гармонізація з іншими інфраструктурними системами, включаючи контактну мережу та системи енергопостачання;

- можливість інтеграції з Європейською системою керування рухом (ERTMS).

Надійність:

- робота без збоїв у широкому діапазоні погодних умов;

- резервування основних компонентів для уникнення відмов.

Основні елементи систем сигналізації та автоматизації

Автоматична система керування рухом (АСУ). АСУ забезпечує керування рухом поїздів, оптимальне планування та контроль за виконанням розкладу.

Системи автоматичного блокування. Гарантують, що на одному відрізку колії знаходиться лише один поїзд, і дають змогу значно підвищити частоту руху поїздів без втрати безпеки.

Системи контролю швидкості. Автоматично знижують швидкість у випадку перевищення дозволеного ліміту і працюють у взаємодії з колійними датчиками та GPS.

Модернізовані сигналізаційні пристрої. Світлофори та індикатори, що відображають оперативну інформацію та світлодіодні технології для підвищення видимості за будь-яких умов.

Системи телеметрії. Виявляють несправності елементів інфраструктури в режимі реального часу та зменшують час на ремонт і технічне обслуговування систем залізничної автоматики.

Особливості систем для високошвидкісного руху:

- працездатність на швидкостях до 400 км/год;

- висока щільність передавання даних між рухомим складом і наземними станціями;

- автоматизація процедур приймання та відправлення поїздів.

Виклики в реалізації:

- висока вартість впровадження;

- необхідність адаптації до існуючої інфраструктури;

- тривалі терміни проєктування і тестування.

Використання систем сигналізації та автоматизації на дільницях швидкісного і високошвидкісного руху потребують якісного технічного рішення та значних інвестицій, але виконання зазначених вимог дасть змогу гарантувати максимальну безпеку, ефективність і комфорт для пасажирів.

4. Експлуатаційні показники залізничних дільниць для віднесення до категорії швидкісні чи високошвидкісні

Віднесення залізничних дільниць до категорій швидкісні чи високошвидкісні потребує аналізу низки експлуатаційних показників. Ця класифікація допомагає встановити пріоритети для модернізації інфраструктури та забезпечення відповідності сучасним стандартам. Розглянемо основні експлуатаційні показники, що впливають на таку класифікацію:

Максимальна швидкість руху:

- швидкісний рух визначають як рух із максимальною швидкістю від 160 до 200 км/год (на існуючих лініях);

- високошвидкісний рух охоплює швидкості понад 200 км/год.

Для впровадження таких швидкостей необхідно забезпечити оптимальну геометрію колії, міцність конструкцій і високоякісне технічне обслуговування.

Пропускна спроможність:

- кількість поїздів, що можуть пройти через дільницю за певний час, залежить від стану сигналізації, автоматизації та телекомунікацій;

- для швидкісних магістралей пропускна спроможність має становити не менше 12-15 пар поїздів за годину.

Геометричні параметри колії:

- радіус кривих: для високошвидкісного руху радіус кривих має бути не менше 4000 м;

- поздовжні похили: для швидкісного руху допускають не більше 12 ‰.

Тип рухомого складу:

- сучасні електропоїзди, обладнані системами активного керування та стабілізації, потрібно використовувати для швидкісного та високошвидкісного руху;

- рухомий склад має відповідати стандартам безпеки, енергоефективності та екологічності.

Стан сигналізації та автоматизації:

- системи сигналізації мають забезпечувати надійний контроль за рухом поїздів;

- використання системи ERTMS (European Rail Traffic Management System) дає змогу підвищити безпеку та зменшити інтервали між поїздами.

Експлуатаційні витрати:

- для класифікації дільниць необхідно врахувати витрати на утримання інфраструктури та обслуговування;

- оптимальне співвідношення між витратами та експлуатаційною ефективністю є важливим фактором для визначення категорії дільниці.

Безпека руху

Забезпечення безпеки руху передбачає виконання таких вимог:

- наявність сучасних систем диспетчерського контролю;

- використання автоматичних систем контролю швидкості;

- проведення регулярних технічних оглядів інфраструктури та обладнання.

Вплив експлуатаційних показників на віднесення дільниць до категорії швидкісні чи високошвидкісні

Експлуатаційні показники дають змогу забезпечити ефективне функціонування залізничних магістралей, сприяють підвищенню швидкості руху та зменшенню часу на перевезення пасажирів і вантажів. Крім того, вони мають значення для оптимізації витрат на утримання та модернізацію залізничної інфраструктури.

Отже, визначення основних експлуатаційних показників для віднесення залізничних дільниць до категорій швидкісного чи високошвидкісного руху допомагає забезпечити ефективність і гарантувати безпеку транспортного процесу. Надані показники створюють основу для планування модернізації та розвитку залізничного транспорту, що відповідає сучасним потребам суспільства та економіки.

Економічні параметри

Однією з основних умов впровадження дільниць швидкісного та високошвидкісного руху є оцінювання економічних показників, що визначають доцільність і ефективність модернізації залізничної інфраструктури.

Основні економічні показники

Капітальні витрати на модернізацію інфраструктури:

- витрати на реконструкцію колійного полотна для забезпечення необхідних параметрів руху;

- інвестиції у вдосконалення систем сигналізації, автоматизації та телемеханіки;

- будівництво або модернізація станцій і платформ для обслуговування швидкісних поїздів.

Експлуатаційні витрати:

- затрати на утримання та ремонт модернізованих дільниць;

- витрати на забезпечення персоналу необхідним обладнанням і підвищення його кваліфікації.

Обсяг пасажиропотоку:

- прогнозовані показники використання дільниці;

- аналіз демографічних даних і рівня попиту на швидкісний транспорт;

- потенціал залучення пасажирів з інших видів транспорту.

Доходи від експлуатації:

- очікувані доходи від продажу квитків;

- додаткові надходження від комерційних послуг на станціях і вокзалах;

- інтеграція транспортних рішень у регіональні та міжнародні транспортні коридори.

Рентабельність проєкту:

- визначення терміну окупності вкладених коштів;

- аналіз можливих ризиків, пов’язаних з економічною нестабільністю або зміною попиту.

Економічний ефект для регіонів:

- розвиток туризму і транспортної інфраструктури;

- підвищення цінності нерухомості вздовж модернізованих дільниць;

- збільшення доходів від податків через активізацію економічної діяльності.

Соціально-економічна ефективність:

- скорочення часу на переміщення між населеними пунктами;

- зменшення навантаження на інші види транспорту;

- поліпшення умов для розвитку ділової активності та економічної кооперації.

Визначення залізничних дільниць як швидкісних або високошвидкісних потребує всебічного аналізу економічних показників. Інвестиції в модернізацію інфраструктури мають супроводжувати прогнози рентабельності, впливу на регіональну економіку та соціальну сферу. Економічні показники дають змогу оптимізувати планування та забезпечують ефективність впровадження таких проєктів.

5. Нормативно-правова база

Основна нормативно-правова база для віднесення залізничних дільниць до дільниць зі швидкісним і високошвидкісним рухом включає:

1. Закон України «Про залізничний транспорт». У ньому визначені загальні засади функціонування залізничного транспорту, його безпеки та вимоги до інфраструктури.

2. Правила технічної експлуатації залізниць України (ПТЕ). Вони регламентують технічні параметри залізничних колій, рухомого складу, сигналізації та інші вимоги, необхідні для забезпечення безпеки руху.

3. Державні будівельні норми (ДБН):

- ДБН В.2.3-19:2018 «Споруди транспорту. Залізничні колії 1520 мм».

4. *Європейська система керування залізничним рухом (ERTMS)*.

5. Національні стандарти України (ДСТУ):

- ДСТУ EN 50126-1:2018 «Залізнична автоматика та зв'язок. Технічні вимоги до надійності, готовності, обслуговуваності та безпеки (RAMS)»;

- ДСТУ EN 50129:2019 «Залізнична автоматика та зв'язок. Системи зв'язку, сигнальні та обчислювальні системи безпеки»;

- ДСТУ ISO 9001:2015 «Система менеджменту якості».

6. *Технічні регламенти інфраструктури залізничного транспорту України*. Описують основні технічні характеристики колій, контактних мереж, систем сигналізації та керування:

- технічний регламент залізничного транспорту України;

- рекомендації UIC щодо проєктування високошвидкісних магістралей.

7. Міжнародні нормативні документи:

- TSI (Technical Specifications for Interoperability) Європейського Союзу для швидкісного залізничного транспорту;

- директива ЄС 2016/797 «Про взаємодію залізничної системи в межах ЄС».

Ці документи забезпечують нормативне підґрунтя для оцінювання та класифікації залізничних дільниць, їх модернізації та експлуатації відповідно до вимог швидкісного та високошвидкісного руху.

Завдання для виконання практичної роботи

Завдання 1. *Визначення технічних критеріїв:*

1. Вибрати дільницю залізничної мережі України (наприклад Київ – Харків).

2. Проаналізувати геометричні параметри траси: радіуси кривих, нахили, якість полотна.

3. Скласти таблицю з виявленими відповідностями вимогам швидкісного/високошвидкісного руху.

Завдання 2. *Аналіз систем сигналізації:*

1. Описати наявні системи керування рухом на вибраній дільниці.

2. Оцінити їхній вплив на безпеку руху та забезпечення заданої швидкості.

Завдання 3. *Експлуатаційно-економічний аналіз:*

1. Проаналізувати завантаженість вибраної дільниці.

2. Визначити економічні переваги від її модернізації до швидкісного/високошвидкісного руху.

Структура звіту

1. Вступ

Мета роботи: вивчення критеріїв класифікації залізничних дільниць і аналіз їхніх техніко-експлуатаційних характеристик.

Актуальність: роль швидкісного руху в інтеграції України до світової транспортної системи та економічному зростанні.

2. Теоретичні засади та нормативна база

Класифікація рухів: розмежування швидкісного (160–250 км/год) і високошвидкісного (понад 250 км/год) режимів.

Огляд нормативних документів.

3. Аналіз технічних параметрів інфраструктури (завдання 1)

Геометричні характеристики: оцінювання радіусів кривих (від 1200 до 7000 м) і поздовжніх похилів для забезпечення безпеки.

Колійне господарство: вимоги щодо безстикової колії та спеціальних матеріалів.

Енергозабезпечення: параметри контактної мережі та використання напруги 25 кВ змінного струму.

Станційне господарство: спеціалізовані платформи та інтеграція з міською інфраструктурою.

4. Системи сигналізації, зв'язку та автоматизації (завдання 2)

Функціональні вимоги: забезпечення безпеки, точності, швидкодії та надійності в умовах високих швидкостей.

Основні технології:

- автоматичні системи керування (АСУ) і системи контролю швидкості;

- впровадження європейської системи ERTMS (рівні 2 та 3);

- системи телеметрії для моніторингу інфраструктури в реальному часі.

Інноваційний аспект: перспективи застосування інтелектуальних алгоритмів і експертних систем для предиктивної діагностики та автоматизованого керування рухом на швидкостях до 400 км/год.

5. Експлуатаційно-економічний аналіз дільниці (завдання 3)

Експлуатаційні показники: пропускна спроможність (не менше 12–15 пар поїздів за годину), типи рухомого складу та витрати на утримання.

Економічні параметри:

- капітальні витрати на модернізацію та реконструкцію;

- аналіз прогнозованого пасажиропотоку та доходів від експлуатації;

- соціально-економічний ефект: розвиток регіонів, туризму та скорочення часу в дорозі.

6. Висновки:

- узагальнена оцінка потенціалу вибраної дільниці;

- визначення основних викликів (вартість, тривалість проєктування) і шляхів їх подолання.

Література [1, 4, 6-14].

ПРАКТИЧА РОБОТА 6
РОЗРОБЛЕННЯ СОЦІАЛЬНО-ЕКОНОМІЧНИХ ОБҐРУНТУВАНЬ ДЛЯ БУДІВНИЦТВА ШВИДКІСНИХ І ВИСОКОШВИДКІСНИХ МАГІСТРАЛЕЙ

Мета заняття:

1. Ознайомити здобувачів з основними принципами розроблення соціально-економічних обґрунтувань.

2. Сформувати практичні навички аналізу економічних і соціальних аспектів будівництва швидкісних магістралей.

3. Набути навичок із використання сучасних методів оцінювання впливу інфраструктурних проєктів на регіональний розвиток.

Теоретичний матеріал

Швидкісні та високошвидкісні магістралі є важливим елементом розвитку транспортної інфраструктури. Будівництво таких магістралей сприяє збільшенню мобільності населення, стимулює економічний розвиток регіонів і покращує екологічні показники.

Основні етапи розроблення соціально-економічних обґрунтувань

Визначення мети проєкту. Опис основних цілей, яких має досягти будівництво магістралей.

Будівництво швидкісних і високошвидкісних магістралей є стратегічно важливим завданням для сучасного розвитку транспортної інфраструктури України. Це питання набуває особливої актуальності в умовах зростання пасажирських і вантажних перевезень, інтеграції країни до європейського транспортного простору та необхідності забезпечення стійкого економічного розвитку.

Метою проєкту будівництва швидкісних і високошвидкісних магістралей є створення сучасної транспортної інфраструктури, яка була б здатна забезпечити:

- підвищення швидкості та безпеки перевезень за рахунок скорочення часу подорожей для пасажирів, забезпечення високого рівня безпеки за рахунок впровадження передових технологій сигналізації, автоматизації та телемеханіки;

- розвиток економіки і створення нових робочих місць за рахунок генерації економічного зростання через поліпшення логістики та транспортування товарів, забезпечення зайнятості у сфері будівництва, обслуговування та експлуатації магістралей;

- інтеграцію до європейської транспортної системи за рахунок відповідності європейським стандартам швидкості, екологічності та технологічності, підвищення конкурентоспроможності України як транзитної держави;

- зменшення екологічного впливу за рахунок сприяння переходу на екологічно чисті види транспорту, зниження викидів парникових газів завдяки скороченню частки автомобільних перевезень;

- покращення соціальної мобільності та доступності за рахунок забезпечення доступу до сучасного транспорту для населення різних регіонів, підвищення якості життя завдяки зручності та швидкості перевезень.

Для реалізації зазначеної мети необхідно виконати такі завдання:

- розроблення техніко-економічного обґрунтування, у якому необхідно проаналізувати існуючі транспортні потоки, оцінити потенційний попит на швидкісні перевезення;

- впровадження сучасних технологій, які націлені на використання інноваційних матеріалів для будівництва та автоматизацію систем керування рухом;

- пошук джерел фінансування через залучення інвестицій від міжнародних фінансових установ, державного фінансування та державно-приватного партнерства;

- відповідність міжнародним стандартам, які включають гармонізацію нормативної бази з європейськими директивами та забезпечення відповідності вимогам безпеки та екологічності.

Проєкт будівництва швидкісних і високошвидкісних магістралей є не лише важливим кроком у розвитку транспортної інфраструктури України, але і стратегічною інвестицією в її майбутнє. Визначення чіткої мети і завдань забезпечує ефективне планування, реалізацію та функціонування таких магістралей, що позитивно впливатиме на економічний, соціальний і екологічний стан країни.

Аналіз демографічних і соціально-економічних характеристик регіонів

Рішення про вибір регіонів для інвестицій у будівництво швидкісних і високошвидкісних магістралей має бути ґрунтоване на ретельному аналізі демографічних і соціально-економічних характеристик, оскільки ці фактори безпосередньо впливають на ефективність експлуатації залізничних ліній і доцільність їх будівництва. Розглянемо декілька важливих демографічних і соціально-економічних характеристик, що потрібно враховувати, плануючи такі об'єкти.

1. Демографічні характеристики регіонів. Демографічні фактори є одними з основних для планування нових транспортних шляхів. До них відносять:

- *густоту населення.* Висока густота населення в певних регіонах може означати більший попит на пасажирські перевезення, що робить будівництво швидкісних магістралей економічно вигідним;

- *міграційні процеси.* Напрямки міграції людей, зокрема з сільської місцевості до міст, можуть впливати на потребу в полегшеному доступі до великих міст через високошвидкісне сполучення;

- *вік населення.* Молодь і робоча сила зазвичай більш активно користуються транспортом, тому наявність високошвидкісних ліній у таких

регіонах може сприяти розвитку економічних активностей і зручності для цієї категорії населення;

- *розміщення великих міських агломерацій.* Транспортні коридори мають сенс на тих ділянках, де є велика концентрація населення, що забезпечує постійний попит на перевезення.

2. Соціально-економічні характеристики. Соціально-економічні характеристики визначають потенціал регіону для підтримки інвестицій у будівництво швидкісних і високошвидкісних магістралей. Основні показники:

- *рівень економічного розвитку.* Регіони з високим рівнем індустріалізації та розвиненими підприємствами потребують швидкісних магістралей для доставлення товарів і переміщення робочої сили. Це також стосується аграрних регіонів, де швидкісний транспорт необхідний для доставлення продукції на ринки;

- *інфраструктура*. Наявність розвинутої інфраструктури, зокрема логістичних хабів, виробничих кластерів, комерційних центрів, визначає, які регіони будуть найбільш вигідними для будівництва швидкісних залізничних ліній;

- *транспортна доступність.* Регіони, які знаходяться на перехресті важливих транспортних шляхів або є логістичними вузлами, повинні мати швидкісні лінії для забезпечення зручності транспортування людей і вантажів;

- е*кологічна ситуація.* У сучасних умовах екологічні фактори відіграють важливу роль. Вибір напрямків для будівництва високошвидкісних ліній має враховувати мінімізацію негативного впливу на природу та навколишнє середовище.

3. Визначення пріоритетних регіонів для будівництва. Щодо вищезазначених характеристик, то, плануючи будівництво швидкісних магістралей, необхідно орієнтуватися:

- на *регіони з високою концентрацією населення.* Це забезпечує високий попит на перевезення, що робить будівництво таких магістралей економічно обґрунтованим;

- *регіони з розвиненою економікою.* Регіони, що мають потужні економічні вузли, індустріальні зони, є важливими для розвитку швидкісних магістралей як частини логістичних і економічних мереж;

- *регіони з потребою в розвитку інфраструктури.* Наявність перспективних територій для розвитку нових підприємств, промислових центрів і аграрних кластерів потребує створення швидкісного транспорту для покращення мобільності.

Отже, аналіз демографічних і соціально-економічних характеристик регіонів для будівництва швидкісних і високошвидкісних магістралей дає змогу ефективно розподіляти ресурси та інвестиції на найперспективніші території. Регіони з високою густотою населення, розвиненою економікою і транспортною інфраструктурою є пріоритетними для розвитку таких об'єктів, що сприятиме подальшому економічному розвитку та покращенню якості життя населення.

Розрахунок економічних показників. Включає оцінювання вартості проєкту, термінів окупності, впливу на ВВП, створення робочих місць.

Будівництво швидкісних і високошвидкісних магістралей є важливим етапом розвитку транспортної інфраструктури, який потребує значних фінансових і ресурсних вкладень. Проте ефективність таких інвестицій залежить від правильного розрахунку економічних показників, що допомагають оцінити доцільність і вигідність проєкту. Розглянемо основні економічні показники, які потрібно враховувати для розрахунку витрат і прибутковості проєкту будівництва швидкісних і високошвидкісних магістралей.

Розрахунок економічних показників для будівництва швидкісних магістралей можна поділити на кілька основних етапів:

- *оцінювання капітальних витрат.* Включає витрати на проєктування, будівництво інфраструктури (колії, станції, енергетичні та технічні споруди), придбання необхідного обладнання (локомотиви, вагони, системи керування рухом);

- *оцінювання експлуатаційних витрат*. Включає витрати на обслуговування інфраструктури, оплату праці персоналу, ремонтні роботи, технічне обслуговування поїздів і утримання станцій;

- *прогнозування доходів.* Визначення доходів від перевезень пасажирів і вантажів, ураховуючи потенційний попит, тарифи на перевезення та можливості залучення приватних інвесторів;

- о*цінювання економічної ефективності проєкту*. Включає розрахунок таких показників, як внутрішня норма дохідності (IRR), чиста теперішня вартість (NPV), термін окупності проєкту.

Капітальні витрати на будівництво швидкісних і високошвидкісних магістралей включають:

- *проєктні роботи:* розроблення проєктної документації, проведення технічних і геодезичних досліджень, отримання дозволів;

- *будівництво інфраструктури:* будівництво залізничної колії, підготовка території, будівництво мостів, тунелів, шляхопроводів, станцій і допоміжних об'єктів;

- з*акупівлю обладнання:* придбання локомотивів, пасажирських вагонів, технічних засобів керування рухом, сигналізації, систем автоматизації та інше;

- *підготовку персоналу та навчання*: витрати на навчання операторів, іншого персоналу і технічних спеціалістів.

Експлуатаційні витрати для швидкісних магістралей складаються:

- з *технічного обслуговування та ремонту:* витрати на регулярне обслуговування інфраструктури та рухомого складу, капітальний ремонт, заміну елементів колії та технічних засобів;

- *енергетичних витрат:* витрати на електроенергію для руху поїздів, освітлення станцій та інших об'єктів;

- *зарплати персоналу:* витрати на оплату праці працівників, що обслуговують інфраструктуру і технічні системи, диспетчерів, інженерів та іншого персоналу;

- *адміністративних витрат:* витрати на керування проєктом, планування перевезень, забезпечення безпеки та керування рухом.

Доходи від перевезень можуть включати:

- *доходи від пасажирських перевезень*. Оцінювання попиту на перевезення залежно від чисельності населення, щільності міських агломерацій, економічної активності та платоспроможності населення;

- *доходи від вантажних перевезень.* Урахування обсягів вантажоперевезень між великими індустріальними центрами, портами та іншими важливими точками;

- *тарифи на перевезення.* Визначення тарифів на перевезення пасажирів і вантажів з урахуванням витрат на обслуговування і бажаної прибутковості;

- *додаткові доходи*. Можливість залучення приватних інвестицій, отримання доходів від реклами на станціях та інфраструктурі, плата за користування іншими послугами (паркінг, комерційні об'єкти).

Для оцінювання економічної ефективності проєкту будівництва швидкісних магістралей використовують такі основні показники:

- *чиста теперішня вартість (NPV).* Це різниця між теперішньою вартістю доходів і витрат на всіх етапах реалізації проєкту. Якщо NPV додатне, проєкт є вигідним;

- *внутрішня норма дохідності (IRR).* Це ставка дисконту, за якої NPV проєкту дорівнює нулю. Якщо IRR перевищує ставку дисконту, проєкт вважають економічно ефективним;

- *термін окупності.* Це час, необхідний для того, щоб доходи від проєкту покрили початкові інвестиції. Чим менший термін окупності, тим вигідніший проєкт.

Розрахунок економічних показників для будівництва швидкісних і високошвидкісних магістралей є необхідним для оцінювання доцільності інвестицій і визначення рентабельності проєкту. Правильний підхід для оцінювання капітальних та експлуатаційних витрат, прогнозування доходів і використання відповідних економічних методів дає змогу вибрати найбільш ефективні та вигідні напрями для розвитку транспортної інфраструктури.

Аналіз соціальних показників. Вплив на якість життя населення, мобільність, доступність послуг.

Рішення про розвиток транспортних систем потребують оцінювання соціальних показників, оскільки ці проєкти можуть суттєво змінити життя населення, сприяти покращенню якості життя, розвитку регіонів, економічному зростанню: основні соціальні показники, що потрібно враховувати для планування будівництва швидкісних магістралей.

Швидкісні та високошвидкісні магістралі значно покращують доступність різних регіонів, зменшуючи час у дорозі. Це має безпосередній вплив на мобільність населення та доступність. Завдяки високій швидкості транспорту зростає мобільність населення, особливо в густонаселених регіонах або між великими містами, що сприяє кращому зв’язку між різними економічними та культурними центрами. Швидкісні магістралі дають змогу жителям віддалених територій отримувати доступ до великих економічних, освітніх і медичних ресурсів, що підвищує рівень життя в цих районах.

Будівництво та експлуатація швидкісних магістралей значною мірою сприяє створенню нових робочих місць у різних сферах. На етапі будівництва інфраструктури (колії, станції, енергетичні споруди) необхідна велика кількість працівників, що включає інженерів, будівельників,

проєктувальників та інших фахівців. Після завершення будівництва для обслуговування та експлуатації швидкісних магістралей потрібен персонал на станціях, у диспетчерських центрах, а також технічні спеціалісти для обслуговування поїздів та інфраструктури. Поява нових транспортних ліній створює попит на перевезення вантажів, що, зокрема, може призвести до зростання робочих місць у сфері логістики і транспорту.

Швидкісні та високошвидкісні магістралі можуть суттєво змінити якість життя населення в різних його аспектах. Завдяки швидкому транспорту жителі віддалених регіонів можуть легше досягати навчальних закладів і медичних центрів, що покращує доступність таких послуг. Скорочення часу на поїздки зменшує стрес для пасажирів, що позитивно впливає на їхній психологічний стан і дає змогу краще планувати власний час. Покращення транспортної доступності може стимулювати розвиток туризму, зокрема в таких регіонах, які раніше були важкодоступними.

Розвиток транспортної інфраструктури може допомогти соціально незахищеним групам, даючи їм змогу працювати або навчатися в інших містах, де рівень доходів і можливості для розвитку можуть бути вищими. Будівництво швидкісних магістралей допомагає вирівняти економічні та соціальні можливості між різними регіонами, забезпечуючи доступ до центрів зайнятості та підприємництва.

Розвиток швидкісних магістралей має позитивний вплив на розвиток соціальної інфраструктури в регіонах через покращення транспортної інфраструктури. Швидкісні магістралі часто включають модернізацію існуючих залізничних станцій, створення нових транспортних вузлів і поліпшення зв’язку з іншими видами транспорту, що підвищує ефективність міської та регіональної інфраструктури. У результаті будівництва таких магістралей покращують умови для розвитку нових житлових, комерційних і рекреаційних зон, що позитивно впливає на рівень життя.

Будівництво швидкісних магістралей може мати екологічні наслідки, але ці фактори можна мінімізувати за допомогою сучасних технологій. Сучасні високошвидкісні поїзди є більш екологічними завдяки використанню електричних двигунів, що зменшує викиди CO_2, порівняно з іншими видами транспорту. Проєктування нових магістралей часто включає заходи для збереження екосистем, таких як екологічні коридори для тварин і захист навколишнього середовища від забруднення.

Будівництво швидкісних і високошвидкісних магістралей має значний соціальний вплив на різні аспекти життя населення. Правильне врахування соціальних показників допомагає не лише покращити інфраструктуру і транспортну доступність, але і створити нові можливості для розвитку соціальної сфери, покращити якість життя і зменшити соціальну нерівність. Для максимального ефекту від таких проєктів необхідно поєднувати інвестиції в транспортну інфраструктуру з ініціативами, спрямованими на покращення соціальних умов для населення.

Методи аналізу соціально-економічних факторів

SWOT-аналіз для визначення сильних і слабких сторін проєкту.

Будівництво швидкісних і високошвидкісних магістралей є великими інфраструктурними проєктами, які потребують ретельного аналізу та оцінювання всіх можливих ризиків і переваг. Одним із методів для цього є SWOT-аналіз, який допомагає оцінити сильні та слабкі сторони проєкту, а також можливості та загрози, що можуть виникнути в процесі його реалізації.

Сильні сторони проєкту будівництва швидкісних магістралей можна визначити як ті фактори, які можуть забезпечити успішну реалізацію проєкту і його позитивний вплив на економіку і суспільство:

- *покращення транспортної доступності*. Однією з головних переваг швидкісних магістралей є значне скорочення часу подорожей між великими містами та регіонами, що сприяє інтеграції економік і розвитку міжрегіональних зв'язків;

- *створення нових робочих місць.* Будівництво та експлуатація таких магістралей потребують великої кількості працівників, що створює можливості для розвитку трудового ринку, а також для покращення інфраструктури в регіонах;

- *зменшення екологічного навантаження.* Використання електричних швидкісних поїздів дає змогу значно знизити викиди вуглекислого газу порівняно з іншими видами транспорту, такими як авіа або автомобільний транспорт;

- *підвищення конкурентоспроможності країни.* Розвиток швидкісного транспорту дає змогу країні займати лідируючі позиції на міжнародному ринку транспортних послуг, що може залучити інвестиції і туристів;

- *інноваційні технології*. Впровадження новітніх технологій у сфері залізничного транспорту (автоматизовані системи керування, нові матеріали для будівництва) підвищує загальний рівень розвитку інфраструктури.

Слабкі сторони. Однак на шляху реалізації проєкту є й певні слабкі сторони, які можуть вплинути на успіх будівництва швидкісних магістралей:

- *високі капітальні витрати.* Будівництво швидкісних магістралей потребує великих фінансових інвестицій на етапах проєктування, будівництва та закупівлі обладнання. Це може бути проблемою для державного бюджету, особливо у країнах з обмеженими фінансовими ресурсами;

- *технічні труднощі та інженерні проблеми.* Урахування різних географічних і кліматичних умов може створювати труднощі під час будівництва (гірські райони, заболочені місцевості, потреба в тунелях і мостах);

- *тривалий час реалізації.* Проєкт потребує багато часу на етапах проєктування та будівництва, що може призвести до затримок у реалізації та збільшення витрат;

- *потенційний вплив на екосистеми.* Хоча швидкісні поїзди є більш екологічними порівняно з іншими видами транспорту, будівництво нових магістралей може мати вплив на місцеві екосистеми, зокрема природні середовища для тварин і рослин;

- *соціальні протести і заперечення.* Розбудова швидкісних ліній може бути пов'язана з необхідністю вилучення земельних ділянок, що може спричинити протестні настрої серед місцевих мешканців, особливо у віддалених регіонах.

Можливості

Щодо можливостей, то будівництво швидкісних магістралей може дати такі переваги:

- *розвиток туристичної галузі.* Збільшення транспортної доступності може позитивно вплинути на розвиток туризму, що дасть змогу розвивати туристичну інфраструктуру, зокрема готелі, ресторани, розважальні заклади;

- *залучення інвестицій*. Оскільки розвиток інфраструктури є важливим фактором для зростання економіки, будівництво швидкісних магістралей може залучити іноземні та місцеві інвестиції, що сприятиме розвитку інших секторів економіки;

- *вдосконалення технологій.* Будівництво таких магістралей може стимулювати інноваційні розроблення у сфері транспортних технологій, що допоможе країні розвивати нові високотехнологічні галузі та підвищити ефективність існуючих;

- *покращення екологічної ситуації.* Урахування екологічних аспектів для проєктування магістралей допомагає знизити вплив на навколишнє середовище та сприяти розвитку сталого транспорту, що може бути позитивно сприйнято громадськістю і міжнародною спільнотою.

Загрози

Під час реалізації проєкту можуть виникати певні загрози, які потрібно врахувати:

- *фінансові ризики.* Високі початкові витрати і тривалий період окупності можуть створювати фінансові труднощі, особливо у випадку економічної нестабільності в країні або зміни тарифної політики;

- *невизначеність попиту*. Незважаючи на наявність передумов для розвитку швидкісного транспорту, не завжди можна точно спрогнозувати попит на такі перевезення, що може призвести до зниження рентабельності проєкту;

- *конкуренція з іншими видами транспорту.* Авіаційний транспорт або автомобільні перевезення можуть стати конкурентами для швидкісних магістралей, особливо в умовах розвитку нових технологій (наприклад електричні автомобілі);

- *політичні та соціальні ризики*. Можливі зміни в політичному середовищі, соціальні протести або зміни в законодавстві можуть ускладнити реалізацію проєкту або призвести до додаткових витрат.

SWOT-аналіз для проєкту будівництва швидкісних і високошвидкісних магістралей дає змогу виділити основні фактори, які впливають на успіх або невдачу такого проєкту. Сильні сторони, такі як покращення доступності, створення робочих місць і зменшення екологічного навантаження, є важливими перевагами. Однак існують і слабкі сторони, зокрема високі капітальні витрати і технічні труднощі. Можливості розвитку туризму, залучення інвестицій і вдосконалення технологій можуть стати важливими факторами успіху, але загрози, такі як фінансові ризики та конкуренція з іншими видами транспорту, потребують обережного підходу щодо реалізації проєкту. Загалом SWOT-аналіз є корисним інструментом для систематичного визначення потенціалу проєкту і керування ризиками на різних етапах його реалізації.

Метод вартості життєвого циклу

Одним з основних методів оцінювання вартості проєктів є метод вартості життєвого циклу (LCC, Life Cycle Costing). Цей метод допомагає

врахувати всі витрати, пов'язані з будівництвом, експлуатацією, технічним обслуговуванням і демонтажем інфраструктури, що дає змогу отримати більш точну та обґрунтовану оцінку загальних витрат на весь період існування магістралей. У цій практичній роботі буде розглянуто, як метод вартості життєвого циклу застосовано для проєктів швидкісних і високошвидкісних магістралей.

Метод вартості життєвого циклу (LCC) – це методика оцінювання загальних витрат на об'єкт або систему протягом усього її життєвого циклу, починаючи з фази проєктування та будівництва і до закриття або демонтажу об'єкта. Цей метод допомагає оцінити економічну ефективність інвестицій, порівнюючи не лише початкові витрати, а і витрати на експлуатацію та обслуговування об'єкта на всіх етапах його функціонування.

Використання методу вартості життєвого циклу дає змогу більш точно визначити загальні витрати на будівництво та експлуатацію інфраструктурних об'єктів, таких як швидкісні та високошвидкісні магістралі, а також ухвалювати обґрунтовані рішення для вибору проєктів і технологій.

Для аналізу вартості життєвого циклу швидкісних магістралей розглядають кілька основних етапів:

- проєктування та будівництва;
- експлуатації;
- утримання і модернізації;
- демонтажу і закриття.

Використовуючи метод LCC для аналізу вартості життєвого циклу швидкісних магістралей, ураховують такі основні категорії витрат:

- *ініціальні витрати (початкові витрати).* Це витрати на проєктування, будівництво та запуск магістралі. Включають витрати на закупівлю та установлення технічного обладнання, колії, станцій, будівельні та земляні роботи;

- *витрати на експлуатацію.* Це витрати, пов'язані з обслуговуванням та експлуатацією магістралі, включаючи витрати на персонал, енергетичні ресурси, інфраструктурні витрати на підтримку нормальної роботи транспортної системи, а також витрати на ремонт і обслуговування поїздів і технічного обладнання;

- *витрати на утримання та модернізацію.* Включають витрати на технічне обслуговування, оновлення інфраструктури, модернізацію систем безпеки, зміну або оновлення устаткування для забезпечення відповідності сучасним вимогам;

- *витрати на демонтаж або перепрофілювання.* Витрати, пов'язані з виведенням з експлуатації інфраструктури, її утилізацією або перепрофілюванням для інших потреб.

Метод вартості життєвого циклу має низку переваг, серед яких:

- *комплексний підхід щодо оцінювання витрат.* LCC дає змогу оцінити всі витрати на всіх етапах життєвого циклу, що забезпечує більш точне розуміння загальних витрат на проєкт;

- *оптимізація інвестицій.* За допомогою цього методу можна порівняти різні варіанти проєктів або технологій і вибрати найбільш економічно вигідний;

- *прогнозування майбутніх витрат.* Метод допомагає спрогнозувати майбутні витрати на експлуатацію та модернізацію, щоб краще планувати фінансові ресурси на довгострокову перспективу;

- *урахування екологічних і соціальних аспектів.* LCC дає змогу врахувати не лише економічні, але й екологічні витрати (наприклад на зниження викидів CO_2), а також соціальні витрати (наприклад на покращення умов життя в регіонах).

Метод вартості життєвого циклу є ефективним інструментом для оцінювання та порівняння витрат на будівництво та експлуатацію швидкісних і високошвидкісних магістралей. Використовуючи цей метод,

можна не тільки отримати точну інформацію про загальні витрати на проєкт, а й оптимізувати рішення про вибір технологій і підходів щодо будівництва і експлуатації. Оцінювання вартості життєвого циклу також допомагає зменшити ризики фінансових витрат, підвищити ефективність використання ресурсів і забезпечити сталість проєкту на довгострокову перспективу.

Оцінювання мультиплікаційного ефекту від будівництва магістралі

Одним із важливих аспектів оцінювання проєктів будівництва швидкісних і високошвидкісних магістралей є визначення їхнього економічного ефекту для країни та регіонів. Одним із методів оцінювання цього ефекту є метод оцінювання мультиплікаційного ефекту. Цей метод допомагає оцінити, як інвестиції в будівництво швидкісних і високошвидкісних магістралей стимулюють економічний розвиток, створення нових робочих місць і збільшення обсягів виробництва в суміжних галузях. Розглянемо, як метод оцінювання мультиплікаційного ефекту може бути застосований для проєктів будівництва швидкісних і високошвидкісних магістралей.

Мультиплікаційний ефект - це економічне явище, яке описує процес, за якого інвестиції в одну галузь чи сектор економіки спричиняють серію додаткових витрат і доходів в інших секторах, що в підсумку призводить до значного зростання економічної активності. Простими словами, мультиплікація відображає, як кожна одиниця інвестицій сприяє збільшенню валового внутрішнього продукту (ВВП) країни.

Для інфраструктурних проєктів, таких як будівництво швидкісних і високошвидкісних магістралей, мультиплікаційний ефект має важливе значення, оскільки такі проєкти не лише безпосередньо впливають на транспортну інфраструктуру, але і стимулюють розвиток суміжних галузей, таких як будівництво, виробництво, логістика та сервісні послуги.

Оцінювання мультиплікаційного ефекту для проєкту будівництва швидкісних магістралей передбачає аналіз того, як витрати на будівництво та експлуатацію проєкту будуть розподілені по економіці. Мультиплікація може бути прямою, непрямою та індукованою:

- *прямий ефект* – це безпосередні витрати на проєкт, включаючи витрати на будівництво інфраструктури (колії, станції, енергетичні та сигналізаційні системи), закупівлю техніки та обладнання;

- *непрямий ефект* – це витрати, які виникають через взаємодію з іншими секторами економіки. Наприклад, закупівля матеріалів для будівництва (метал, цемент, техніка) стимулює розвиток суміжних галузей, таких як гірничодобувна, виробнича та металургійна промисловість;

- *індукований ефект* – це витрати, спричинені збільшенням доходів населення і споживчої активності. Завдяки створенню нових робочих місць у будівництві, обслуговуванні та експлуатації магістралей зростають доходи населення, що сприяє збільшенню споживчого попиту і розвитку локальних економік.

Оцінювання мультиплікаційного ефекту для проєкту будівництва швидкісних магістралей включає кілька етапів:

- *оцінювання прямих витрат.* На цьому етапі необхідно визначити суму інвестицій у будівництво інфраструктури, закупівлю обладнання та будівельні роботи. Ці витрати безпосередньо сприяють створенню робочих місць у будівельній галузі та галузях, що постачають матеріали та обладнання;

- *аналіз непрямих ефектів.* Розрахунок цього ефекту полягає в оцінюванні того, як витрати на матеріали, енергетичні ресурси та послуги спричиняють зростання виробничих показників в інших галузях економіки. Наприклад, збільшення попиту на сталі та цемент через будівництво магістралі стимулює розвиток відповідних галузей;

- *оцінювання індукованого ефекту.* Це дослідження впливу на споживчий попит. Створення нових робочих місць і зростання доходів населення підвищують попит на товари та послуги, що може збільшити економічну активність у місцевих громадах і регіонах.

Як приклад оцінювання мультиплікаційного ефекту розглянемо будівництво швидкісної магістралі між двома великими містами. У результаті будівництва створено тисячі робочих місць на етапі будівництва та в суміжних галузях. Витрати на будівництво можуть становити близько 5 млрд дол., із яких 70 % витрачають на закупівлю матеріалів і техніки, 30 % – на оплату праці працівників.

За допомогою мультиплікатора, який визначають через економічні моделі, можна розрахувати, що кожен мільярд доларів витрат на будівництво магістралі призводить до збільшення ВВП на 1,5-2 млрд дол. завдяки прямим, непрямим та індукованим ефектам. Це означає, що загальний мультиплікаційний ефект від будівництва магістралі може скласти 7,5-10 млрд дол. для економіки країни.

Метод оцінювання мультиплікаційного ефекту має кілька значних переваг для планування інфраструктурних проєктів:

- *оцінювання загального економічного ефекту.* Мультиплікатор дає змогу оцінити не лише прямі витрати на будівництво, а і більш широкий економічний ефект, що створений для суміжних галузей і місцевих економік;

- о*бґрунтування інвестицій.* Оцінювання мультиплікаційного ефекту допомагає обґрунтувати економічну доцільність великих інфраструктурних інвестицій, показуючи, як вони сприяють розвитку різних секторів економіки;

- *прогнозування довгострокових ефектів.* Метод допомагає прогнозувати довгострокові економічні ефекти від будівництва швидкісних магістралей, включаючи створення робочих місць, розвиток нових галузей і збільшення податкових надходжень.

Метод оцінювання мультиплікаційного ефекту є потужним інструментом для аналізу економічного впливу будівництва швидкісних і високошвидкісних магістралей на національну та регіональну економіку. Використання цього методу дає змогу оцінити не лише прямі витрати, але і непрямі вигоди, такі як стимулювання суміжних галузей, створення нових робочих місць і підвищення економічної активності в регіонах. Завдяки оцінюванню мультиплікаційного ефекту уряди та інвестори можуть ухвалювати більш обґрунтовані рішення про розвиток інфраструктури, що сприятиме сталому економічному зростанню та підвищенню якості життя.

Завдання для виконання практичної роботи

Завдання 1 (варіант 1)

Вихідні дані:

- місто А: населення – 1,5 млн осіб;
- місто Б: населення – 1 млн осіб;
- відстань між містами: 350 км;
- потік пасажирів на рік: 2,5 млн осіб;
- вартість будівництва 1 км швидкісної магістралі: 40 млн дол.;
- час на поїздку на поточному транспорті: 6 год;
- час на поїздку на швидкісному поїзді: 2 год;
- вартість квитка на поїзд для одного пасажира: 40 дол.;
- місячна зарплата середньо статистичного працівника: 700 дол.

Завдання:

1. Оцінити економічний ефект від зменшення часу на поїздку для пасажирів.

2. Розрахувати витрати на будівництво магістралі.

3. Оцінити потенційні соціальні вигоди від будівництва (наприклад зниження забруднення, створення робочих місць).

Завдання 2 (варіант 2)

Вихідні дані:

- місто А: населення – 2 млн осіб;
- місто Б: населення – 1,2 млн осіб;
- відстань між містами: 400 км;
- потік вантажів на рік: 1 млн т;
- вартість будівництва 1 км високошвидкісної магістралі: 60 млн дол.;
- час на перевезення вантажу на поточному транспорті: 8 год;
- час на перевезення вантажу на високошвидкісному поїзді: 4 год;
- тариф за перевезення 1 т вантажу: 50 дол.;
- потенційні робочі місця, що створюють під час будівництва: 5000 осіб.

Завдання:

1. Оцінити економічні вигоди від скорочення часу транспортування вантажів.

2. Розрахувати загальну вартість будівництва високошвидкісної магістралі.

3. Проаналізувати соціальні вигоди від створення робочих місць і покращення екологічної ситуації в регіоні.

Завдання 3 (варіант 3)

Вихідні дані:

- місто А: населення – 3 млн осіб;
- місто Б: населення – 1,8 млн осіб;
- відстань між містами: 500 км;
- потік пасажирів на рік: 3 млн осіб;
- вартість будівництва 1 км швидкісної магістралі: 45 млн дол.;
- час на поїздку на поточному транспорті: 7 год;
- час на поїздку на швидкісному поїзді: 3 год;

- вартість квитка на поїзд для одного пасажира: 50 дол.;

- екологічний ефект від переходу до швидкісного поїзда (зменшення викидів CO_2): 20 % на рік.

Завдання:

1. Оцінити економічний ефект від скорочення часу в дорозі для пасажирів.

2. Розрахувати витрати на будівництво швидкісної магістралі.

3. Проаналізувати екологічний ефект від будівництва магістралі (зменшення викидів CO_2).

Завдання 4 (варіант 4)

Вихідні дані:

- місто А: населення – 2,5 млн осіб;

- місто Б: населення – 2 млн осіб;

- відстань між містами: 600 км;

- потік пасажирів на рік: 4 млн осіб;

- вартість будівництва 1 км високошвидкісної магістралі: 55 млн дол.;

- час на поїздку на поточному транспорті: 9 год;

- час на поїздку на високошвидкісному поїзді: 4 год;

- вартість квитка на поїзд для одного пасажира: 60 дол.;

- очікувана економія на витратах пального для перевезення вантажів 30%.

Завдання:

1. Оцінити економічний ефект від зменшення часу на поїздку для пасажирів.

2. Розрахувати загальні витрати на будівництво високошвидкісної магістралі.

3. Оцінити економічний ефект від зниження витрат на пальне в перевезеннях вантажів.

Завдання 5 (варіант 5)

Вихідні дані:

- місто А: населення – 1,8 млн осіб;
- місто Б: населення – 1,3 млн осіб;
- відстань між містами: 450 км;
- потік пасажирів на рік: 2 млн осіб;
- вартість будівництва 1 км швидкісної магістралі: 50 млн дол.;
- час на поїздку на поточному транспорті: 5,5 год;
- час на поїздку на швидкісному поїзді: 2,5 год;
- вартість квитка на поїзд для одного пасажира: 45 дол.;
- тариф на перевезення вантажів для одного контейнера: 300 дол.

Завдання:

1. Оцінити економічний ефект від зменшення часу на поїздку для пасажирів.
2. Розрахувати витрати на будівництво швидкісної магістралі.
3. Оцінити потенційний економічний ефект від перевезення вантажів завдяки покращенню транспортної інфраструктури.

Загальні інструкції для виконання завдання

Використовуйте відповідні формули для розрахунку вартості будівництва, економії часу та витрат.

Проаналізуйте соціально-економічні вигоди від скорочення часу на поїздку, створення робочих місць, зниження витрат на пальне та підвищення продуктивності в інших галузях.

Оцініть потенційний вплив на навколишнє середовище (викиди CO_2, зниження забруднення тощо).

Зробіть висновки про доцільність будівництва швидкісної магістралі в кожному варіанті на основі економічних і соціальних показників.

Для розрахунку вартості будівництва швидкісних і високошвидкісних магістралей, економії часу та витрат, можна використовувати кілька

базових формул. Наведені нижче формули допомагають оцінити основні економічні показники для цих проєктів.

1. Формула для розрахунку вартості будівництва магістралі

Вартість будівництва швидкісної або високошвидкісної магістралі визначають за формулою

$$C_{буд} = L \cdot C_{км}, \tag{6.1}$$

де Сбуд – загальна вартість будівництва магістралі (долари або інша валюта);

L – довжина магістралі, км;

Скм – вартість будівництва 1 км магістралі (долари або інша валюта).

2. Формула для розрахунку економії часу для пасажирів

Економія часу для пасажирів залежить від різниці в часі поїздки на поточному транспорті і швидкісному поїзді.

$$T_{економія} = (T_{поточний} - T_{швидкісний}) \cdot P, \tag{6.2}$$

де Т економія – загальна економія часу для всіх пасажирів, год;

Т поточний – час поїздки на поточному транспорті, год;

Т швидкісний – час поїздки на швидкісному поїзді, год;

Р – кількість пасажирів, що користуються швидкісною магістраллю на рік.

3. Формула для розрахунку економії витрат на пальне

Економія на пальному від використання швидкісних поїздів порівняно з автомобільним або вантажним транспортом може бути оцінена через скорочення витрат на пальне.

$$E_{пальне} = (C_{пальне,\ поточний} - C_{пальне,\ швидкісний}) \cdot D, \tag{6.3}$$

де Епальне – економія на витратах пального (долари або інша валюта);

Спальне, поточний – витрати на пальне для поточного транспорту на 1 км (долари або інша валюта);

Спальне, швидкісний – витрати на пальне для швидкісного поїзда на 1 км (долари або інша валюта);

D – кількість кілометрів, які проїжджають вантажні або пасажирські перевезення за рік.

4. **Формула для розрахунку вартості перевезення вантаж**у

Вартість перевезення вантажу за допомогою швидкісних магістралей може бути розрахована на основі тарифу та обсягу перевезених вантажів:

$$Свантаж = Твантаж \cdot Q, \quad (6.4)$$

де Свантаж – загальні витрати на перевезення вантажів (долари або інша валюта);

Твантаж – тариф за перевезення 1 од. вантажу (долари або інша валюта);

Q – обсяг вантажу (тонни або інші одиниці вимірювання).

5. Формула для розрахунку економії витрат на транспортне обслуговування

Для оцінювання зниження витрат на обслуговування транспортних засобів у результаті переходу до швидкісного або високошвидкісного транспорту можна використати таку формулу:

$$Е\ обслуговування = Собслуговування,\ поточний - Собслуговування,\ швидкісний, \quad (6.5)$$

де Еобслуговування – економія на витратах на обслуговування транспорту;

Собслуговування – витрати на обслуговування поточного транспорту;

Собслуговування, швидкісний – витрати на обслуговування швидкісного транспорту.

6. Формула для розрахунку ефекту від створення робочих місць

Загальна кількість створених робочих місць під час будівництва і експлуатації магістралі може бути оцінена за такою формулою:

$$J \text{ робочі} = J \text{ будівництво} + J \text{ експлуатація}, \quad (6.6)$$

де J робочі – загальна кількість робочих місць, створених за весь період, люд. р.);

Jбудівництво – кількість робочих місць, створених під час будівництва магістралі;

Jексплуатація – кількість робочих місць, створених під час експлуатації магістралі.

7. Формула для розрахунку екологічного ефекту

Для оцінювання зменшення шкідливих викидів у результаті будівництва швидкісних магістралей можна використовувати таку формулу:

$$E \text{ екологія} = E\,CO_2, \text{ поточний} - ECO_2, \text{ швидкісний}, \quad (6.7)$$

де Еекологія - економічний ефект від зменшення викидів CO_2 (тонни CO_2);

ECO_2, поточний - викиди CO_2 від поточного транспорту;

ECO_2, швидкісний - викиди CO_2 від швидкісного транспорту.

Пояснення для застосування:

1. Вартість будівництва дає розуміння необхідних інвестицій для побудови магістралі, що є базою для розрахунків інших економічних показників.

2. Економія часу – важлива для пасажирів, адже коротший час на поїздку підвищує ефективність транспорту.

3. Економія витрат на пальне значно знижує витрати на перевезення, а також зменшує екологічний вплив.

4. Економія на транспортному обслуговуванні знижує загальні витрати на утримання транспортної інфраструктури.

5. Екологічний ефект важливий для зменшення впливу на довкілля.

Структура звіту

1. Вступ

Мета роботи: опанування принципів розроблення соціально-економічних обґрунтувань і методів оцінювання впливу магістралей на регіональний розвиток.

Стратегічне значення: роль швидкісного руху в інтеграції України до європейського транспортного простору та підвищенні конкурентоспроможності держави.

2. Концептуальні засади проєкту

Визначення мети будівництва: підвищення швидкості, безпеки (через автоматизацію і телемеханіку) і зменшення екологічного впливу.

Завдання реалізації: техніко-економічне обґрунтування, пошук джерел фінансування та гармонізація нормативної бази з директивами ЄС.

3. Аналіз характеристик регіонів проєктування

Демографічний профіль: оцінювання густоти населення, міграційних процесів і вікової структури як факторів попиту.

Соціально-економічний потенціал: рівень індустріалізації, наявність логістичних хабів та екологічна ситуація в регіоні.

Вибір пріоритетних напрямів: обґрунтування вибору територій із високою концентрацією населення та потужними економічними вузлами.

4. Економічне обґрунтування проєкту (розрахункова частина)

Оцінювання витрат: розрахунок капітальних інвестицій (проєктування, будівництво, системи керування рухом) та експлуатаційних витрат.

Прогнозування доходів: тарифи на перевезення і залучення приватних інвестицій.

Показники ефективності: розрахунок NPV (чиста теперішня вартість), IRR (внутрішня норма доходності) і терміну окупності.

5. Соціальний та екологічний вплив

Соціальні показники: покращення мобільності, доступність медичних та освітніх ресурсів для віддалених регіонів.

Трудовий ресурс: створення нових робочих місць на етапах будівництва та експлуатації.

Екологічний ефект: перехід на екологічно чистий електричний транспорт і мінімізація викидів CO_2.

6. Методологія стратегічного аналізу

SWOT-аналіз проєкту: визначення сильних сторін (інноваційні технології), слабких сторін (високі витрати), можливостей (розвиток туризму) і загроз (фінансові ризики).

Метод вартості життєвого циклу (LCC): облік витрат від проєктування до демонтажу.

Оцінювання мультиплікаційного ефекту: вплив інвестицій на ВВП через суміжні галузі (металургія, будівництво, сервіс).

Практичне завдання (за вибраним варіантом)

Приклад розрахунків. Розрахунок соціально-економічних показників

1. Вихідні дані

Місто А: 1,5 млн осіб; місто Б: 1 млн осіб.

Відстань (L): 350 км.

Пасажиропотік (Р): 2,5 млн осіб/р.

Вартість будівництва 1 км (Скм): 40 млн дол.

Час у дорозі (Тпоточний): 6 год; (Тшвидкісний): 2 год.

Середня зарплата: 700 дол./міс.

2. Розрахунок вартості будівництва (Сбуд)

Використовуємо формулу Сбуд = L / Скм.

Сбуд = 350 км х 40 / млн дол. /км = 14000 млн дол. (або 14 млрд дол.).

3. Розрахунок економії часу пасажирів (Текономія)

Використовуємо формулу Текономія = (Тпоточний - Тшвидкісний) х Р.

Текономія = (6 год - 2 роки) х 2,5 млн осіб = 4 год х 2,5 млн = 10 млн пас. год/р.

4. Оцінювання економічного ефекту від економії часу

Для оцінювання переведемо зекономлений час у грошовий еквівалент (на основі середньої зарплати).

Вартість 1 год роботи: для 160 робочих годин на місяць – 700 / 160 = 4,38 дол./год.

Річний економічний ефект: 10 млн год х 4,38дол/год = = 43,8 млн дол./р.

5. Аналіз соціальних вигод

Збільшення мобільності: скорочення часу в дорозі в три рази (з 6 до 2 год) значно підвищує доступність освітніх і медичних ресурсів між містами.

Створення робочих місць: будівництво такої масштабної лінії (14 млрд дол. інвестицій) потребуватиме тисяч фахівців: інженерів, будівельників і проєктувальників.

Екологічний ефект: використання електричних поїздів замість автомобільного транспорту дозволить знизити викиди CO_2.

6. Резюме щодо доцільності

Проєкт потребує значних капітальних вкладень (14 млрд дол.). Однак, ураховуючи великий пасажиропотік (2,5 млн осіб) та економію часу (10 млн год щорічно), будівництво є стратегічно обґрунтованим для розвитку агломерацій міст А і Б.

Література [1, 4, 6-14].

ПРАКТИЧНА РОБОТА 7
АНАЛІЗ ТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТА ІНЖЕНЕРНИХ РІШЕНЬ ДЛЯ ВИДІЛЕННЯ ЗАЛІЗНИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ ШВИДКІСНИХ МАГІСТРАЛЕЙ ІЗ МАГІСТРАЛЕЙ ЗАГАЛЬНОГО КОРИСТУВАННЯ

Мета роботи: ознайомити здобувачів з основними технічними характеристиками та інженерними рішеннями, що використовують для розмежування інфраструктури швидкісних магістралей і магістралей загального користування. Визначити основні параметри, що забезпечують функціонування швидкісних магістралей. Розробити рекомендації для вдосконалення інженерних рішень.

Теоретичний матеріал

Особливості швидкісних магістралей

Швидкісні залізничні магістралі є важливим елементом сучасної транспортної інфраструктури. Вони забезпечують швидке, безпечне та комфортне перевезення пасажирів, зменшують час у дорозі та сприяють економічному розвитку регіонів. Розглянемо основні особливості швидкісних магістралей, порівнявши зі звичайними залізничними магістралями загального користування.

1. Швидкість руху. Швидкісні магістралі розраховані на швидкість руху поїздів від 200 до 350 км/год і вище. Цього досягають завдяки спеціальному проєктуванню колій, інженерних споруд і рухомого складу. На магістралях загального користування швидкість руху пасажирських поїздів обмежена зазвичай до 120-140 км/год (на окремих ділянках до 160 км/год), що зумовлено менш жорсткими технічними вимогами щодо інфраструктури та рухомого складу.

2. Інфраструктура. Швидкісні магістралі мають спеціально спроєктовані колії з мінімальними радіусами кривих. На них застосовано

спеціальні матеріали для баластного шару та рейок, що забезпечує стійкість і зменшення зносу. Розташовують швидкісні магістралі зазвичай у відриві від інших транспортних потоків для уникнення перетинів. У магістралях загального користування інфраструктура менш жорстка щодо технічних характеристик і є багатофункціональною: використовувана для змішаного руху (пасажирських і вантажних перевезень).

3. Системи керування та сигналізації. Швидкісні магістралі використовують сучасні автоматизовані системи керування, такі як Європейська система керування залізничним рухом (ERTMS) рівнів 2 або 3, де інформацію передають по радіоканалу безпосередньо на локомотив. Магістралі загального користування використовують переважно автоблокування з традиційними напільними світлофорами.

4. Інженерні споруди. На швидкісних магістралях будують тунелі, мости і естакади для зменшення перепадів висоти і збереження прямолінійності маршруту. Для них високі вимоги висувають щодо міцності та аеродинаміки конструкцій. Магістралі загального користування більш гнучкі у проєктуванні та часто використовують існуючу інфраструктуру.

5. Рухомий склад. На швидкісних магістралях поїзди спеціально розроблені для руху на високих швидкостях, оснащені потужними двигунами, сучасними системами гальмування і стабілізації. Використано ергономічний дизайн для зниження аеродинамічного опору. На магістралях загального користування залізничні склади орієнтовані на змішані перевезення, включаючи вантажні та пасажирські.

6. Комфорт і безпека. На швидкісних магістралях висувають підвищені вимоги щодо комфорту пасажирів: шумоізоляція, кліматконтроль, просторі салони, а також максимальні стандарти безпеки, включаючи автоматизований контроль над рухом поїздів із виключенням помилок машиніста. На магістралях загального користування безпеку перевезень гарантують наявними пристроями автоматичної локомотивної сигналізації (АЛСН) і автостопами.

7. Економічні аспекти. Швидкісні магістралі потребують значних інвестицій у будівництво, обслуговування та модернізацію. На них також підвищена вартість квитків, орієнтована на платоспроможного пасажира. На магістралях загального користування менші витрати на будівництво та експлуатацію, а також значно нижча вартість перевезень, доступна широким верствам населення.

Отже, швидкісні залізничні магістралі мають низку технічних, експлуатаційних та економічних переваг порівняно з магістралями загального користування. Вони орієнтовані на високий рівень комфорту, безпеки та ефективності, проте потребують значних інвестицій і складних технічних рішень. Розвиток таких магістралей є важливим кроком для модернізації транспортної інфраструктури та підвищення конкурентоспроможності залізничного транспорту.

Основні технічні характеристики для виділення залізничної інфраструктури швидкісних магістралей із магістралей загального користування

Для забезпечення ефективності та безпеки швидкісного руху залізнична інфраструктура має відповідати спеціальним технічним характеристикам, що відрізняють її від магістралей загального користування.

Основними технічними характеристиками для виділення залізничної інфраструктури швидкісних магістралей із магістралей загального користування є:

- *швидкість руху*. Для швидкісних магістралей встановлено межі швидкості руху від 160 до 250 км/год. Для високошвидкісних магістралей швидкість руху становить понад 250 км/год. Ці показники впливають на конструкцію колій, системи сигналізації та керування рухом;

- *конструкція колійного полотна*. Ця вимогу забезпечують за рахунок використання безстикових колій із високоякісними рейками типу

P65 або UIC60, покращення щебеневого баластного укріплення або бетонних шпал, а також застосування удосконалених пружинних кріплень (наприклад типу КПП або PANDROL для зменшення вібрації;

- *радіуси кривих і ухили*. Мінімальні радіуси кривих – 2000 м і більше (для швидкостей понад 250 км/год – від 4000 м), що забезпечує плавність руху. Це потребує зменшення ухилів для підтримання стабільності швидкості;

- *платформи та вокзали.* Ці споруди потребують збільшення довжини платформ для приймання довгих швидкісних поїздів, а також забезпечення доступності та оптимізації посадки/висадки пасажирів;

- *системи сигналізації та керування.* Необхідно забезпечити впровадження сучасних систем керування рухом, таких як ETCS (Європейська система керування рухом), використання автоматизованих блокувальних пристроїв із функцією безперервного контролю швидкості, систем диспечерської централізації та стрілочних переводів із гнучкими гостряками та рухомими осердями хрестовин;

- *контактна мережа.* Ці пристрої повинні мати високу потужність енергопостачання (25кВ) для забезпечення стабільного живлення та підвищеного натягу контактного і несучого дротів (компенсована підвіска) для запобігання відриву струмоприймача;

- *інженерні споруди*. Для їх адаптування до умов високошвидкісного руху необхідно будувати тунелі, мости і шляхопроводи з урахуванням навантажень швидкісних поїздів і використовувати шумозахисні екрани для зменшення впливу на навколишнє середовище; забезпечити повне виключення перетинів із автомобільними дорогами в одному рівні (відсутність залізничних переїздів);

- *системи безпеки та діагностики.* Необхідно встановити системи моніторингу стану колій і рухомого складу в реальному часі та забезпечити використання датчиків для виявлення пошкоджень інфраструктури і запобігання аваріям. Технічні характеристики швидкісних магістралей є

результатом комплексного підходу для проєктування, що враховує підвищені вимоги щодо швидкості, безпеки та комфорту. Виділення залізничної інфраструктури для швидкісного руху з магістралей загального користування потребує суттєвих інвестицій, але забезпечує значний соціально-економічний ефект.

Інженерні рішення для виділення залізничної інфраструктури швидкісних магістралей із магістралей загального користування

Інтеграція швидкісного руху в залізничну систему потребує впровадження спеціалізованих інженерних рішень, які гарантують безпечність, ефективність і комфортність перевезень. Виділення залізничної інфраструктури швидкісних магістралей із магістралей загального користування базовано на оптимізації існуючих елементів і впровадженні нових технологій.

Серед основних інженерних рішень для виділення залізничної інфраструктури швидкісних магістралей із магістралей загального користування слід відзначити такі:

1. Реконструкція колійного полотна – це застосування зварених рейкових ліній довжиною в блок-ділянку або перегін, що знижують рівень шуму, вібрацій і сприяють підвищенню швидкості руху. Посилення основи колій за рахунок використання якісних матеріалів для баластного шару та заміна старих шпал на бетонні або полімерні. Підвищення стійкості рейок за рахунок використання високоякісної сталі з покращеними механічними характеристиками.

2. Оптимізація радіусів кривих і ухилів за рахунок збільшення їхніх радіусів до мінімуму (2000 м) для зменшення відцентрових сил і зниження ухилів для забезпечення стабільності швидкості та зменшення навантаження на гальмівні системи.

3. Модернізація контактної мережі за рахунок підвищення потужності енергопостачання для забезпечення стабільної роботи поїздів на

високих швидкостях і застосування сучасних підвісних систем із підвищеною жорсткістю і зносостійкістю.

4. Модернізація систем автоматики за рахунок впровадження автоматизованих систем керування рухом, таких як ERTMS (Європейська система керування залізничним рухом), які забезпечують безперервний контроль швидкості та місцезнаходження поїздів за допомогою колійних баліс (Eurobalises) і радіоканалу стандарту GSM-R чи LTE-R.

5. Переобладнання станцій і платформ. Виконання цього завдання потребує збільшення довжини платформ для розміщення швидкісних поїздів і впровадження сучасних пасажирських терміналів із зонуванням для швидкого обслуговування пасажирів.

6. Штучні інженерні споруди. Адаптація цих споруд до умов високошвидкісного руху потребує будівництва нових споруд або посилення існуючих для витримування динамічних навантажень від швидкісних поїздів, розширення профілю тунелів для забезпечення аеродинамічної стійкості та зменшення шуму, виконання заходів зі зниження акустичного впливу на прилеглі території.

7. Системи моніторингу та діагностики. Будівництво та модернізація цих систем має бути за рахунок встановлення сенсорів і датчиків для постійного моніторингу стану колій, контактної мережі та інших елементів інфраструктури, а також використання автоматизованих діагностичних поїздів для регулярної перевірки технічного стану інфраструктури.

8. Відокремлення швидкісного руху від звичайного. Для мінімізації взаємного впливу звичайного та швидкісного руху передбачені будівництво окремих виділиних колій для швидкісних потягів, організація роздільного руху за часом (інтервалами) та обладнання окремих колійних ділянок сучасними засобами автоматизації та зв’язку. Виділення залізничної інфраструктури для швидкісного руху потребує значних інженерних зусиль і фінансових інвестицій. Однак ці заходи сприяють підвищенню

ефективності транспортної системи, забезпечують комфортність і безпеку пасажирських перевезень.

Відмінності швидкісних магістралей від магістралей загального користування

Швидкісні магістралі є інноваційним рішенням у сфері залізничного транспорту, яке забезпечує значно вищу швидкість і комфорт перевезень. Порівняно з магістралями загального користування вони мають низку технічних, експлуатаційних та організаційних відмінностей, що забезпечують їхню ефективність і безпеку. Для зручності порівняння відмінності зведено в табл. 7.1.

Таблиця 7.1

Відмінності швидкісних магістралей від магістралей загального користування

Параметр порівняння	**Швидкісні магістралі**	**Магістралі загального користування**
1	2	3
Колійне полотно	Використовують безстикові рейки підвищеної міцності, баластний шар високої стійкості або монолітну бетонну основу	Переважно ланкова колія або безстикова на стандартному щебеневому баласті з вищими допусками зносу
Радіуси кривих	Мінімальні радіуси значно більші (від 2000 до 7000 м) для зниження відцентрових сил	Менші радіуси кривих, що дає змогу адаптуватися до місцевого рельєфу, але обмежує швидкість
Контактна мережа	Високонапругові системи (25 кВ) із компенсованою підвіскою підвищеного натягу дротів	Стандартна контактна мережа, адаптована до помірних швидкостей

Продовження табл. 7.1

1	2	3
Швидкість руху	Забезпечують швидкість руху 160–250 км/год, на високошвидкісних – понад 250 км/год	Швидкість обмежена: для пасажирських – до 120–140 км/год, для вантажних – до 80–90 км/год
Пропускна спроможність	Орієнтовані переважно на пасажирські експреси з високою частотою та однорідним графіком руху	Призначені для комбінованого (змішаного) перевезення пасажирів і вантажів
Системи сигналізації	Автоматизовані мікропроцесорні системи (ERTMS/ETCS) без підлогових світлофорів	Традиційні системи автоблокування з підлоговими світлофорами та АЛСН
Мости і тунелі	Розраховані під високі динамічні навантаження; тунелі мають розширений профіль для зниження тиску	Структури відповідають стандартним статичним і помірним динамічним навантаженням
Шумозахист	Обов'язкове облаштування шумозахисними екранами вздовж населених пунктів	Встановлення таких споруд обмежене лише окремими ділянками великих вузлів
Екологічний вплив	Потрібне створення екокоридорів (шляхопроводів) для міграції тварин через суцільне огородження траси	Менш інтенсивне втручання в екосистеми, відсутність суцільного огородження ліній
Соціальні переваги	Сприяють швидкій інтеграції великих міст, значному скороченню часу пасажирів у дорозі	Забезпечення базової доступності транспортних послуг для всіх верств населення та вантажних секторів

Отже, швидкісні магістралі мають значні відмінності від магістралей загального користування за технічними, експлуатаційними, інженерними та екологічними параметрами. Вони орієнтовані на сучасні вимоги щодо перевезень, проте їх впровадження потребує значних інвестицій і комплексного планування.

Завдання для виконання практичної роботи

Підготовчий етап:

1. Ознайомитися з нормативно-технічною документацією (ДСТУ, ДБН, ISO, інші стандарти).

2. Вивчити приклади реалізованих проєктів швидкісних магістралей (наприклад Київ – Львів).

Основний етап:

1. Проаналізувати інженерні рішення для швидкісних магістралей:

- колійне полотно;

- шляхопроводи;

- системи енергопостачання.

2. Порівняти технічні характеристики швидкісних магістралей і магістралей загального користування.

3. Визначити можливі технічні перепони для інтеграції швидкісних магістралей у наявну інфраструктуру.

Аналітичний етап:

1. Сформулювати висновки про ефективність інженерних рішень.

2. Розробити рекомендації та логічні алгоритми для оптимізації інфраструктури та пристроїв автоматики.

Структура звіту:

1. Вступ.

Мета роботи: вивчення технічних параметрів та інженерних рішень, що дають змогу розмежувати швидкісну інфраструктуру від загальної.

Актуальність: необхідність модернізації залізничної мережі для забезпечення безпечного руху на швидкостях до 350 км/год.

2. Порівняльний аналіз типів магістралей (завдання 1).

Класифікація за швидкісним режимом, конструктивні відмінності колії, геометрія траси (аналіз вимог щодо радіусів кривих).

3. Спеціалізовані інженерні рішення (завдання 2).

Модернізація енергопостачання, шляхопроводи і штучні споруди, станційна інфраструктура.

4. Системи автоматизації, зв'язку та безпеки.

Інтелектуальне керування рухом поїздів (перехід від традиційних світлофорів до систем ERTMS/ETCS, що забезпечують безперервний контроль швидкості). Предиктивна діагностика за допомогою використання мережі датчиків і автоматизованих діагностичних поїздів для моніторингу стану інфраструктури в реальному часі.

5. Аналітичний розділ і виклики інтеграції.

Технічні перепони поєднання швидкісного руху з вантажними перевезеннями на наявних лініях, екологічна адаптація інфраструктури.

6. Рекомендації щодо вдосконалення інженерних рішень.

Пропозиції щодо відокремлення швидкісного руху (будівництво окремих колій або розмежування за часовими інтервалами за допомогою алгоритмів графіків руху).

7. Висновки. Оцінювання ефективності запропонованих інженерних рішень. Соціально-економічне значення виділення швидкісної інфраструктури для розвитку транспортної системи України.

Література [1, 4, 6-14].

ПРАКТИЧНА РОБОТА 8
ДОСЛІДЖЕННЯ МОНІТОРИНГУ І ТЕХНІЧНОЇ ДІАГНОСТИКИ КЕРУЮЧИХ СИСТЕМ ВИСОКОШВИДКІСНИХ МАГІСТРАЛЕЙ. ОРГАНІЗАЦІЯ ЗВ'ЯЗКУ НА ВИСОКОШВИДКІСНИХ МАГІСТРАЛЯХ

Мета роботи: ознайомити здобувачів з основними методами моніторингу і технічної діагностики керуючих систем на високошвидкісних магістралях; дослідити принципи організації зв'язку на таких магістралях; набути навичок застосування сучасних інструментів для діагностики та керування залізничною інфраструктурою.

Теоретичний матеріал

1. Моніторинг і технічна діагностика керуючих систем

Забезпечення безпеки руху на швидкісних і високошвидкісних залізничних магістралях потребує високотехнологічного підходу щодо моніторингу та діагностики керуючих систем автоматики. Ці системи забезпечують безперебійний контроль за інфраструктурою, керування рухом, та оперативне реагування на можливі відхилення від нормальної роботи.

Моніторинг керуючих систем залізничної автоматики здійснюють на основі *централізованого контролю* за рахунок забезпечення єдиного центру керування, який відстежує стан усіх керуючих систем у режимі реального часу, застосування принципу *безперервності роботи* за допомогою застосування систем моніторингу, які працюють безперебійно, із мінімальними часовими затримками в передаванні даних і *предиктивного прогнозування стану* на основі аналізу статистичних даних для передбачення можливих збоїв або необхідності превентивного ремонту.

Застосування технічної діагностики допомагає оперативно виявляти несправності та мінімізувати ризик аварій. Основним методом діагностики

є *автоматизована діагностика,* за якої виявлення несправностей і дефектів системи відбувається за допомогою сенсорних систем і датчиків, а також за рахунок використання експертних систем та інтелектуальних алгоритмів для аналізу відхилень у роботі (предиктивна аналітика), і *ручна діагностика*, за якої інженерно-технічний персонал проводить профілактичні перевірки і технічне обслуговування та інспектує критичні вузли системи.

Моніторинг на швидкісних і високошвидкісних магістралях має свої особливості. Вони полягають у підвищених вимогах щодо точності. Системи мають миттєво реагувати на зміни, забезпечуючи високу швидкість передавання даних. Системи ВШМ повинні мати можливість інтеграції з іншими системами, взаємодіяти із системами сигналізації, зв'язку та енергозабезпечення. Підвищені вимоги для цих систем висувають також і щодо надійності обладнання. Використання резервних каналів зв'язку та дублювання основних елементів для уникнення збоїв є одною із обов'язкових умов для проєктування систем автоматики високошвидкісних магістралей (ВШМ).

Ефективний моніторинг і діагностика неможливі без надійного зв'язку. Із цією метою використовують цифрові мережі для передавання великих обсягів даних у реальному часі, безпровідні технології, такі як GSM-R і LTE-R, що забезпечують оперативну взаємодію між потягами та інфраструктурою, і хмарні рішення для збереження та обробки даних у централізованих базах. Впровадження систем моніторингу та діагностики на ВШМ дає змогу підвищити безпеки руху, зменшити витрати на технічне обслуговування завдяки ранньому виявленню несправностей і підвищити ефективність керування залізничною інфраструктурою. Моніторинг і технічна діагностика керуючих систем залізничної автоматики є важливими елементами забезпечення безпеки та ефективності руху на швидкісних і високошвидкісних магістралях. Інтеграція сучасних технологій, таких як

штучний інтелект і хмарні рішення, допомагає значно підвищити надійність залізничної інфраструктури.

2. Організація зв'язку на високошвидкісних магістралях

На швидкісних і високошвидкісних магістралях зв’язок відіграє головну роль для забезпечення безпеки руху, координації роботи персоналу та ефективного керування залізничною інфраструктурою. Високі швидкості руху поїздів потребують сучасних рішень, які забезпечують надійність, швидкість і точність передавання інформації. Вимоги до систем зв’язку на швидкісних і високошвидкісних магістралях більш жорсткі з точки зору забезпечення надійності, швидкості передавання данних, інтеграції з іншими системами, забезпечення безпеки передавання данних і безперервності роботи.

На швидкісних і високошвидкісних магістралях застосовують ряд технологій зв’язку.

GSM-R (Global System for Mobile Communications – Railway) – це спеціалізований міжнародний стандарт зв’язку для залізничного транспорту. Він забезпечує голосовий зв’язок, передавання даних та інтеграцію з системами керування рухом ETCS Level 2. До переваг цього стандарту слід віднести високу надійність, підтримку високих швидкостей до 500 км/год і безпечний протокол передавання данних.

LTE-R (Long-Term Evolution for Railways) – це свого роду еволюція GSM-R, яка забезпечує вищу швидкість передавання даних і підтримує мультимедійні сервіси. Вона також здатна обробляти великий обсяг інформації та забезпечує сумісність із системами сигналізації нового покоління.

Технології Wi-Fi та оптоволоконний зв’язок. Ці технології використовують для зв’язку між інфраструктурою та потягами. Оптоволоконні мережі забезпечують високу швидкість і захист даних, їх використовують на залізничному транспорті як лінійну основу інфраструктури зв’язку.

Супутниковий зв'язок. Цей вид зв'язку дає змогу забезпечити резервування каналів передавання даних для магістралей, що проходять через важкодоступні райони, і безперервність зв'язку.

Організація диспетчерського зв'язку допомагає забезпечити контроль за рухом поїздів. Працює він на основі інтегрованих систем моніторингу та керування.

Система оперативного зв'язку забезпечує прямий зв'язок між диспетчерами, машиністами та навченим персоналом. Реалізують її за допомогою голосового зв'язку GSM-R.

Інновації в системах зв'язку – це використання 5G для залізничного транспорту, щоб забезпечити високу швидкість передавання даних і низькі затримки, і керування автономними поїздами. Використання IoT (Інтернет речей) дає змогу підключити сенсори і датчики для збору інформації в реальному часі та моніторингу стану інфраструктури і технічних систем. Хмарні технології допомагають зберігати, обробляти і аналізувати дані для підвищення ефективності керування.

Отже, організація зв'язку на швидкісних і високошвидкісних магістралях є важливим елементом для забезпечення безпеки та ефективності руху. Використання сучасних технологій, таких як LTE-R, 5G та IoT, дає змогу значно підвищити рівень автоматизації, моніторингу та координації залізничної інфраструктури.

Завдання для виконання роботи:

1. Ознайомитися з теоретичним матеріалом із моніторингу та діагностики керуючих систем. Пояснити важливість прогнозування несправностей у системах високошвидкісних магістралей.

2. Проаналізувати системи зв'язку, що використовують на високошвидкісних магістралях. Визначити основні переваги GSM-R та LTE-R.

3. Виконати завдання за своїм варіантом.

Варіант 1

Завдання:

- проаналізувати технічні вимоги щодо систем моніторингу стану стрілочних переводів на високошвидкісних магістралях;

- розробити логічний алгоритм моніторингу та діагностики несправностей із використанням IoT-датчиків.

Вимоги:

- врахувати швидкість передавання даних і необхідний час реакції системи;

- визначити способи резервування каналів зв'язку для забезпечення безперервності роботи.

Варіант 2

Завдання:

- оцінити технічні параметри системи зв’язку GSM-R на прикладі ділянки високошвидкісної магістрал;

- скласти рекомендації з модернізації системи для підтримки стандарту LTE-R.

Вимоги:

- врахувати потребу у високій швидкості передавання даних для відеомоніторингу;

- розглянути можливість інтеграції із системами керування рухом.

Варіант 3

Завдання:

- проаналізувати функціонування систем сигналізації на високо-швидкісних магістралях;

- розробити логіко-математичну модель технічної діагностики для виявлення помилок у передаванні сигналів.

Вимоги:

- урахувати специфіку роботи систем сигналізації на швидкостях понад 300 км/год;

- запропонувати методи усунення помилок у реальному часі.

Варіант 4

Завдання:

- дослідити параметри супутникового зв’язку як резервного каналу на високошвидкісних магістралях;

- розробити схему інтеграції супутникового зв’язку з основною системою керування.

Вимоги:

- забезпечити затримку передавання не більше 0,5 с;

- розглянути умови використання в складних географічних умовах.

Варіант 5

Завдання:

- розробити критерії оцінювання ефективності роботи системи моніторингу технічного стану контактної мережі;

- запропонувати методи діагностики контактної мережі в реальному часі.

Вимоги:

- урахувати необхідність роботи системи для високих швидкостей руху;

- передбачити інтеграцію з централізованими диспетчерськими пунктами.

Варіант 6

Завдання:

- проаналізувати можливості використання хмарних технологій для організації зв’язку на високошвидкісних магістралях;

- розробити план впровадження хмарної платформи для моніторингу та діагностики систем керування рухом.

Вимоги:

- забезпечити надійність передавання даних і захист інформації;

- передбачити масштабованість системи для роботи на декількох магістралях одночасно.

Кожен варіант завдання передбачає виконання теоретичного аналізу, побудову графічних схем або моделей, а також підготовку звіту з висновками та рекомендаціями.

Структура звіту:

1. Вступ. Мета роботи, актуальність.

2. Моніторинг і технічна діагностика керуючих систем (концепція централізованого контролю, види діагностики, прогнозування стану).

3. Організація зв'язку на високошвидкісних магістралях (вимоги щодо систем зв'язку, технологічний стек, резервні канали).

4. Інновації та перспективи розвитку (FRMCS, 5G, IoT).

5. Практична частина (за варіантом) - побудова графічних схем, логічних алгоритмів або імітаційних моделей.

Наприклад, для варіанта 1: аналіз технічних вимог щодо моніторингу стрілочних переводів і розроблення алгоритму діагностики на базі IoT-датчиків. Обґрунтування способів резервування каналів зв'язку для забезпечення безперервності.

Приклад виконання. Варіант № - Інтегруючі вимоги щодо моніторингу об'єктів (наприклад стрілочні переводи) із застосуванням сучасних стандартів зв'язку.

1. Порівняльна характеристика стандартів GSM-R і LTE-R

На високошвидкісних магістралях (ВШМ) зв'язок є фундаментом безпеки. Нижче наведено порівняння двох основних стандартів (табл. 8.1).

2. Алгоритм діагностики стрілочних переводів на базі IoT (Варіант № --)

Об'єкти інфраструктури (стрілочні переводи) на ВШМ потребують миттєвої реакції системи через високі динамічні навантаження.

Технічні вимоги щодо системи:

- ***безперервність:*** моніторинг у режимі реального часу з мінімальними затримками;

- ***резервування*:** використання GSM-R як основного каналу та супутникового або оптоволоконного зв'язку як резервного;

- ***IoT-датчики:*** контроль сили притискання вістря, температури рейок і вібрації під час проходження поїзда.

Таблиця 8.1

Характеристика	GSM-R (поточний стандарт)	LTE-R (перспективний стандарт)
Призначення	Голосовий зв'язок, передавання даних та інтеграція з ETCS	Еволюція GSM-R для мультимедійних сервісів і великих обсягів даних
Швидкість поїзда	Підтримка стабільної роботи до 500 км/год	Орієнтований на ВШМ нового покоління та автономне керування
Пропускна спроможність	Низька (переважно для текстових команд та голосу)	Висока (дає змогу передавати відеопотік у реальному часі)
Технології	Надійний, але застарілий протокол передавання	Сумісність із системами сигналізації нового покоління та IoT

Етапи алгоритму:

1) ***збір даних:*** IoT-датчики на стрілочному переводі фіксують параметри (струм електродвигуна, час переведення, щільність прилягання);

2) ***передавання даних:*** інформацію передають через мережу LTE-R (основну) або GSM-R (резервну) до хмарної платформи;

3) ***аналіз (ШІ):*** нейромережа порівнює поточні дані з еталонними та виявляє відхилення;

4) ***прогнозування:*** якщо тренд вказує на можливий збій (наприклад поступове зростання сили тертя), система формує попередження про предиктивне обслуговування;

5) ***реагування***. *Норма*: продовження моніторингу. *Критичне відхилення*: автоматичне блокування маршруту через систему сигналізації та виклик персоналу. Забезпечення безперервності роботи (резервування):

- *дублювання вузлів*: використання двох незалежних контролерів на кожному стрілочному переводі;

- *гібридний зв'язок:* із втратою сигналу LTE-R система автоматично перемикається на GSM-R або супутниковий канал із затримкою не більше 0,5 с.

Контрольні запитання:

1. Які основні методи технічної діагностики використовують для керуючих систем високошвидкісних магістралей?
2. У чому полягають переваги системи зв'язку GSM-R порівняно з традиційними аналоговими системами?
3. Як саме моніторинг впливає на підвищення безпеки руху?
4. Які технічні параметри забезпечують безперебійний зв'язок за швидкостей понад 300 км/год?

Література [1, 4, 6-14].

ПРАКТИЧНА РОБОТА 9
АНАЛІЗ ПЕРЕДУМОВ ДЛЯ БУДІВНИЦТВА ШВИДКІСНОГО ТА ВИСОКОШВИДКІСНОГО РУХУ В ДЕРЖАВІ. ПІДГОТОВКА ОБҐРУНТУВАНЬ І РЕКОМЕНДАЦІЙ

Мета роботи: ознайомити здобувачів з основними технічними, економічними, соціальними та екологічними передумовами будівництва швидкісних магістралей; набути навичок аналізу та оцінювання потенціалу держави для впровадження швидкісного та високошвидкісного руху; підготувати обґрунтування та рекомендації для реалізації проєкту.

Теоретичний матеріал

1. Передумови для будівництва швидкісного та високошвидкісного руху

Технічні

Будівництво швидкісних і високошвидкісних магістралей є важливим етапом модернізації залізничного транспорту, спрямованим на підвищення ефективності транспортних перевезень і забезпечення потреб сучасного суспільства в мобільності. Успішна реалізація таких проєктів залежить від низки технічних передумов, що гарантують безпеку, комфорт і високу швидкість перевезень. До основних технічних передумов слід віднести такі:

- ***оптимальна геометрія колій.*** Швидкісний і високошвидкісний рух потребують дотримання строгих вимог щодо геометрії колій, таких як радіуси кривих. Для високих швидкостей радіуси кривих мають бути збільшені до 2-5 км. *Похилість колій* – максимально допустима похилість обмежена для забезпечення енергозбереження та безпеки і плавні переходи на стиках для усунення нерівностей і забезпечення комфортного руху;

- ***якісна конструкція інфраструктури***. Вона полягає у використанні безстикових колій і високоміцних рейок, що зменшують шум і вібрацію, застосуванні бетонних шпал і надійного баласту, стійкого до навантажень;

- ***сучасні системи сигналізації та керування***. Для безпеки руху та керування високошвидкісними потягами потрібні автоматизовані системи, такі, як ERTMS (European Rail Traffic Management System). Ця система здатна забезпечувати автоматичний контроль швидкості і керування. Автоматичне блокування дає змогу зменшити інтервали між поїздами;

- ***електрифікація.*** Швидкісні магістралі потребують надійного енергопостачання. У них потрібно використовувати системи контактної мережі з високою стійкістю до вібрацій, а також підвищену напругу для зменшення втрат енергії;

- ***рухомий склад.*** Для швидкісного руху необхідні потяги, що мають аеродинамічну форму для зниження опору повітря, системи активного нахилу кузова для безпечного проходження кривих на високих швидкостях і високопродуктивні гальмівні системи;

- ***безпека і моніторинг.*** Системи контролю і моніторингу допомагають оперативно виявляти поломки та запобігати аварійним ситуаціям, контролювати стан колій, здійснювати моніторинг технічного стану потягів;

- ***організація зв'язку.*** Надійна та швидка система зв'язку має забезпечити координацію між персоналом і поїздами. Це може бути реалізовано за рахунок використання таких стандартів зв'язку, як GSM-R і широкосмугових систем для передавання даних.

Будівництво швидкісних і високошвидкісних магістралей потребує комплексного підходу щодо реалізації технічних рішень. Відповідність вищезазначеним передумовам допоможе гарантувати безпеку, комфорт і ефективність роботи таких магістралей, що сприятиме розвитку транспортної системи та економічного потенціалу країни.

Економічні передумови є одним із важливих аспектів, що впливають на обґрунтованість таких проєктів. Розглянемо основні економічні фактори, що сприяють доцільності впровадження швидкісного руху, до яких можна віднести попит на швидкісні перевезення. Зростання попиту на пасажирські

перевезення між великими містами стимулює розвиток швидкісних магістралей. Це зумовлено перш за все урбанізацією та збільшенням мобільності населення, можливістю скорочення часу на переміщення між регіонами та бажанням пасажирів отримати якісний сервіс.

Економічна ефективність таких перевезень забезпечена за рахунок великого обсягу пасажиропотоку, що окупає витрати на будівництво та експлуатацію.

Залучення інвестицій. Будівництво швидкісних магістралей є капітало-містким проєктом, який залучає державні інвестиції, приватний капітал через механізми державно-приватного партнерства та міжнародні гранти і кредити, наприклад, від Європейського інвестиційного банку.

Такі проєкти стимулюють економічну активність, створюючи нові робочі місця на етапах проєктування, будівництва та експлуатації.

Економія на часі перевезень. Швидкісний рух суттєво скорочує час у дорозі, що позитивно впливає на продуктивність праці населення та економіку в цілому. За даними міжнародних досліджень, кожна зекономлена година у транспорті може бути оцінена як 20–30 % середньої погодинної зарплати пасажира. Швидкісні залізниці є конкурентними з авіаційними перевезеннями на відстанях 300–700 км, що сприяє економії ресурсів у галузі транспорту.

Розвиток регіонів. Швидкісні магістралі сприяють економічній інтеграції регіонів за рахунок покращення доступу до великих економічних центрів, стимулювання розвитку бізнесу в регіонах, що отримують кращу транспортну доступність і підвищення інвестиційної привабливості територій уздовж магістралей. Наприклад впровадження швидкісного руху в Китаї допомогло стимулювати економічний розвиток регіонів, що відставали від загального середнього рівня.

Зменшення витрат на енергоресурси та екологія. Швидкісні залізничні магістралі споживають менше енергії порівняно з автомобільним і авіаційним транспортом. Це сприяє зниженню витрат на енергоресурси та

скороченню викидів парникових газів. Економічна вигода від екологічної складової є довгостроковою, особливо для країн, які впроваджують програми «зеленої» економіки.

Зростання ВВП. Будівництво швидкісних магістралей безпосередньо впливає на зростання валового внутрішнього продукту за рахунок розвитку суміжних галузей (металургії, будівництва, машинобудування), підвищення продуктивності праці та розширення внутрішнього та зовнішнього ринків завдяки покращеній логістиці.

Економічні передумови для будівництва швидкісного та високошвидкісного залізничного транспорту базовані на зростанні попиту, інвестиційній привабливості, економії часу, розвитку регіонів і зниженні екологічних витрат. Реалізація таких проєктів може стати потужним стимулом для економічного розвитку країни, за умови ефективного планування та залучення всіх можливих ресурсів.

Соціальні передумови також є важливими для визначення необхідності будівництва швидкісних і високошвидкісних магістралей. Вони визначають, як транспортна інфраструктура може задовольнити потреби суспільства, підвищити якість життя і сприяти соціальній інтеграції. Розглядаючи основні соціальні фактори, які обґрунтовують розвиток швидкісного залізничного руху, зупинемося на таких, як *підвищення мобільності населенн*я. Швидкісні магістралі значно скорочують час у дорозі, що дає змогу людям зручніше переміщатися між містами, сприяє зростанню трудової мобільності, коли працівники можуть працювати у великих містах, живучи в менших населених пунктах, і створює можливості для швидшого доступу до освітніх, медичних і культурних послуг. *Зменшення соціальної нерівності.* Розвиток швидкісного транспорту допомагає зменшити дисбаланс між різними регіонами країни. Завдяки покращенню доступу до інфраструктури підвищено рівень життя в регіонах, які отримують зручний зв’язок із

великими економічними центрами, і скорочено часові та транспортні бар'єри між регіонами з різними рівнями розвитку.

Покращення екологічної ситуації. Швидкісні поїзди є екологічно чистим видом транспорту, що сприяє зменшенню шумового забруднення порівняно з автомобільним транспортом, мінімізує викиди парникових газів порівняно з авіаперевезеннями та підвищує якість життя у містах завдяки зниженню транспортного навантаження. Це важливо для забезпечення безпечного середовища проживання і здоров'я населення.

Розвиток туризму. Швидкісний транспорт стимулює туристичну активність, забезпечуючи доступність туристичних об'єктів за коротший час і зростання доходів у сфері послуг.

Забезпечення комфортних умов перевезень. Сучасні швидкісні магістралі пропонують високий рівень комфорту для пасажирів, просторі вагони, тиху атмосферу та сучасні сервіси (Wi-Fi, електроживлення), а також можливість працювати чи відпочивати під час поїздки. Це особливо важливо для бізнес-пасажирів, які цінують час і зручність.

Інтеграція в міжнародну транспортну мережу. Розвиток швидкісних магістралей дає змогу країні інтегруватися у глобальну транспортну систему, що сприяє розвитку транскордонного співробітництва, створює можливості для культурного обміну між різними країнами та формує позитивний імідж держави як прогресивної та відкритої.

Соціальні передумови будівництва швидкісного та високошвидкісного руху ґрунтовані на необхідності покращення якості життя населення, зниженні соціальної нерівності, розвитку туризму та інтеграції у світову транспортну мережу.

Екологічні передумови для будівництва швидкісних магістралей полягають у мінімізації впливу транспортної інфраструктури на природу, скороченні шкідливих викидів та енергоефективності. Однією з головних екологічних переваг швидкісного транспорту є низький рівень викидів CO_2

за рахунок електрифікації залізничних магістралей, що значно зменшує залежність від викопного палива. Швидкісні поїзди мають менші викиди парникових газів на одного пасажира порівняно з автомобілями та літаками. Реалізація таких проєктів сприяє виконанню міжнародних зобов'язань щодо боротьби зі зміною клімату. Швидкісний залізничний транспорт є одним із найбільш енергоефективних способів перевезення пасажирів. При ньому поїзди використовують менше енергії, ніж автомобілі чи літаки, на один кілометр перевезення пасажира. Сучасні системи керування рухом оптимізують споживання електроенергії. Відновлювані джерела енергії (сонячна, вітрова) можуть бути інтегровані в систему електропостачання магістралей.

Порівняно з автомобільним і авіаційним транспортом залізниця має нижчий рівень шуму. Швидкісні магістралі оснащені шумоізоляційними бар'єрами. Сучасні поїзди мають аеродинамічні конструкції, що зменшують шум під час руху. Це сприяє зменшенню впливу на здоров'я людей, які живуть поблизу транспортних шляхів.

Будівництво швидкісних магістралей дає змогу більш ефективно використовувати території. Залізничні колії займають менше місця, ніж автомобільні дороги аналогічної пропускної спроможності. Проєктування нових маршрутів допомагає уникати зон із високою природоохоронною цінністю.

Екологічні передумови для будівництва швидкісного та високошвидкісного руху є важливим кроком до зменшення негативного впливу транспорту на довкілля. Використання екологічно безпечних технологій і зниження викидів парникових газів сприяють створенню сталого та екологічно дружнього транспортного середовища, що відповідає потребам сучасного суспільства.

2. Етапи реалізації проєкту швидкісного руху

Реалізація проєкту швидкісного руху – це багатоступеневий процес, що потребує ретельного планування, аналізу та виконання. Він включає

технічну, економічну, соціальну та екологічну складові, спрямовані на забезпечення ефективної реалізації проєкту з урахуванням сучасних вимог.

Підготовчий етап. На цьому етапі здійснюють попередні дослідження та оцінюють доцільності проєкту, визначають попит на швидкісний рух та оцінюють його вплив на економіку і суспільство, вибирають оптимальні варіанти траси з урахуванням географічних, демографічних і транспортних факторів, оцінюють витрати, переваги та ризики проєкту. Також на цьому етапі проводять попереднє техніко-економічне оцінювання, оформляють нормативно-правові документи, отримують дозволи, ліцензії та погодження від органів державного керування.

Техніко-економічне обґрунтування (ТЕО). На цьому етапі здійснюють глибокий аналіз проєкту. Визначають інженерні рішення для будівництва магістралі, включаючи типи колій, енергозабезпечення, системи сигналізації та зв'язку. Розраховують вартість будівництва, експлуатації та обслуговування інфраструктури. Оцінюють вплив проєкту на населення, довкілля та розвиток регіонів. Також на цьому етапі розробляють бізнес-план - документ, що містить фінансову модель реалізації проєкту, джерела фінансування та графік виконання робіт.

Проєктування. На етапі проєктування створюють детальні технічні документи, креслення, специфікації матеріалів, схеми інженерних комунікацій, моделюють роботу інфраструктури та її взаємодії з іншими системами. Також отримують погодження від відповідних органів та експертів. Розробляють проєктну документацію і тестують інженерні рішення.

Фінансування проєкту. На цьому етапі залучають фінансові ресурси державного фінансування – це кошти з бюджету національних і регіональних програм, приватного інвестування – це співпраця з бізнесом через механізми державно-приватного партнерства та міжнародні гранти і кредити із залученням коштів від фінансових інституцій і фондів.

Будівництво та інфраструктурне забезпечення. Це етап реалізації основних робіт: будівництво колій і монтаж залізничної інфраструктури, електрифікація. Інсталяція систем автоматизації та зв'язку, впровадження сучасних технологій для забезпечення безпеки та ефективності. Будівництво станцій і технічних споруд: вокзалів, депо, об’єктів обслуговування поїздів та інше.

Тестування та введення в експлуатацію. Перед початком комерційної експлуатації проводять комплекс перевірок, таких як тестування інфраструктури (перевірка стану колій, контактної мережі, сигналізації та зв'язку), пробні рейси (перевірка роботи поїздів у реальних умовах), підготовка операторів, машиністів і навченого персоналу та отримання дозволу на експлуатацію.

Експлуатація та моніторинг. Після запуску магістралі проводять постійний контроль і моніторинг стану інфраструктури, регулярну діагностику технічного стану, профілактичні роботи для забезпечення безперебійної експлуатації та аналіз експлуатаційних і фінансових показників, коректують плани за потреби.

Реалізація проєкту швидкісного руху є складним процесом, що потребує чіткої координації дій на кожному етапі. Успішне виконання проєкту залежить від ретельного планування, ефективного керування ресурсами та залучення сучасних технологій.

3. Методи аналізу передумов для будівництва швидкісного та високошвидкісного руху

Існують різні методи та підходи для аналізу передумов для будівництва швидкісного та високошвидкісного руху, які допомагають оцінити їхню доцільність і забезпечити ефективне використання ресурсів. Розглянемо основні з них.

Технічний аналіз. Технічний аналіз є основою для оцінювання можливості реалізації проєктів швидкісного та високошвидкісного руху. До

основних факторів, які необхідно враховувати в рамках технічного аналізу, належать:

- оцінювання якості та стану існуючої залізничної мережі, її здатності підтримувати високі швидкості руху, вимоги щодо модернізації або повного оновлення інфраструктури;

- вибір відповідних локомотивів і вагонів, які здатні гарантувати безпечний і ефективний рух на високих швидкостях;

- оцінювання технічних обмежень для досягнення заданих швидкостей, таких як габарити, уклон, радіуси поворотів та інші параметри;

- розгляд технологій для забезпечення безпеки на високих швидкостях, таких як автоматичні системи контролю та керування рухом, системи моніторингу і дистанційного керування.

Економічний аналіз. Економічний аналіз передбачає оцінювання витрат і вигод, а також визначення економічної доцільності проєкту. Основні етапи економічного аналізу включають розрахунок витрат на будівництво нових ліній, модернізацію існуючих шляхів, придбання нового рухомого складу та інфраструктури, оцінювання витрат на обслуговування і ремонти інфраструктури, а також експлуатаційні витрати, пов'язані з використанням високошвидкісного рухомого складу, розрахунок можливих доходів від перевезень, ураховуючи потенційний попит на швидкісні перевезення, а також вплив на економіку регіонів, через які проходитимуть лінії, та оцінювання позитивного впливу на розвиток економіки, зниження викидів CO_2, покращення якості життя внаслідок скорочення часу в дорозі.

Соціальний аналіз. Соціальний аналіз дає змогу оцінити вплив будівництва швидкісного та високошвидкісного руху на громади і регіони. Важливими аспектами є врахування впливу на мобільність населення. Швидкісні лінії можуть значно знизити час подорожей між великими містами, що сприятиме збільшенню мобільності населення та розвитку ділових зв'язків. Будівництво та експлуатація швидкісного руху створює

робочі місця як безпосередньо в інфраструктурі, так і супутніх галузях (туризм, обслуговування). Реалізація цього інфраструктурного проєкту допомагає зменшити тиск на міську інфраструктуру та покращити доступність віддалених регіонів, а також підвищити безпеку пасажирів за рахунок впровадження новітніх технологій і зниження аварійності.

Екологічний аналіз. Екологічний аналіз ураховує вплив проєкту на навколишнє середовище. Для високошвидкісного транспорту важливими є такі аспекти:

- оцінювання впливу проєкту на екологічну ситуацію, зокрема порівняння викидів на різних видах транспорту (автомобільний, авіаційний, залізничний);

- аналіз рівня шуму та вібрацій, які можуть виникати від рухомого складу, і вплив цих факторів на навколишнє середовище та здоров'я людей;

- оцінювання впливу будівництва на екосистеми, включаючи можливість руйнування природних територій, перешкоджання міграції тварин та інші екологічні наслідки.

Правовий аналіз. Правовий аналіз охоплює вивчення нормативно-правових актів, які регулюють будівництво та експлуатацію швидкісних ліній; оцінювання відповідності проєкту міжнародним нормам і стандартам у галузі залізничного транспорту, оцінювання правових процедур, пов'язаних з отриманням дозволів на будівництво, а також вимог щодо охорони навколишнього середовища.

Аналіз передумов для будівництва швидкісного та високошвидкісного руху є комплексним процесом, що охоплює різні аспекти технічного, економічного, соціального, екологічного та правового характеру. Успішна реалізація таких проєктів залежить від детального оцінювання всіх цих факторів і взаємодії між ними. Урахування технічних можливостей, економічної вигоди, соціальних переваг та екологічних наслідків дасть змогу не лише забезпечити ефективність проєкту, але і сприяти сталому розвитку транспортної інфраструктури в майбутньому.

Загальне завдання для виконання роботи

Перший етап: проаналізувати стан залізничної мережі держави та визначити ділянки з найвищим потенціалом для будівництва швидкісних магістралей.

Другий етап: оцінити транспортні потоки (пасажирські та вантажні) на вибраних ділянках за такими параметрами, як інтенсивність і перспективи зростання обсягів перевезень.

Третій етап: SWOT-аналіз для вибраного маршруту:

- сильні сторони (розвиток регіонів, скорочення часу подорожей);
- слабкі сторони (вартість, технічні обмеження);
- можливості (залучення інвесторів, розвиток економіки);
- загрози (екологічні ризики, технічні проблеми).

Четвертий етап: підготувати проєкт соціально-економічного об'єрунтування для будівництва швидкісної магістралі на вибраній ділянці, ураховуючи:

- економічні вигоди;
- вплив на мобільність населення;
- екологічний ефект.

Фінальний етап: розробити рекомендації для реалізації проєкту, ураховуючи необхідні зміни в законодавстві, залучення інвестицій та організацію роботи.

Варіанти завдань

Варіант 1. Аналіз технічних умов для будівництва високошвидкісного руху на ділянці між Києвом і Харковом.

Вихідні дані:

- *протяжність ділянки*: 450 км;
- стан існуючої залізничної інфраструктури:
  - *ширина колії:* 1520 мм;
  - *технічний стан колії:* задовільний.

Потреба в модернізації залізничної лінії для досягнення швидкості 300 км/год.

Наявність перегонів з уклонами до 3 %.

Заміна і модернізація 80 % залізничних станцій;

- *тип рухомого складу:* швидкісні поїзди нового покоління (максимальна швидкість 350 км/год).

Завдання: використовуючи наведену вище етапність виконання роботи, оцінити необхідні роботи для модернізації існуючої інфраструктури, визначити параметри, що обмежують досягнення швидкості 300 км/год, розробити рекомендації з впровадження сучасних систем керування та сигналізації.

Варіант 2. Оцінювання економічної доцільності будівництва швидкісної лінії між Львовом та Одесою.

Вихідні дані:

- *протяжність ділянки:* 500 км;

- *кількість пасажирів на рік:* 1.5 млн осіб.

Очікувані витрати на будівництво:

- *вартість будівництва:* 12 млрд грн;

- *вартість модернізації інфраструктури:* 5 млрд грн.

Очікувані доходи від експлуатації:

- *пасажирський тариф:* 150 грн;

- *річний дохід від пасажирських перевезень:* 225 млн грн.

Завдання: використовуючи наведену вище етапність виконання роботи, оцінити рентабельність проєкту через 10 років, проаналізувати вплив на економіку регіону, включаючи створення нових робочих місць, визначити основні фактори, що можуть вплинути на термін окупності проєкту.

Варіант 3. Аналіз екологічного впливу будівництва високошвидкісного руху на ділянці між Запоріжжям і Дніпром.

Вихідні дані:

- *протяжність ділянки:* 200 км;

- *викиди CO_2 існуючими потягами:* 50 000 т/р.;

- *очікувані викиди CO_2 від високошвидкісних поїздів:* 20 000 т/р.;

- *природоохоронні території, через які проходить ділянка:* два заповідники, загальна площа: 50 км².

Завдання: використовуючи наведену вище етапність виконання роботи, оцінити зменшення викидів CO_2 після будівництва високошвидкісного руху, розрахувати можливий вплив на екосистему заповідників, розробити рекомендації з мінімізації екологічного впливу.

Варіант 4. Оцінювання соціальних наслідків будівництва швидкісної лінії між Харковом і Донецьком.

Вихідні дані:

- *протяжність ділянки:* 300 км;

- *очікуваний попит на перевезення:* 3 млн пас/р.;

- *рівень доступності для маломобільних груп населення:* низький (усі станції потребують модернізації).

Очікувані зміни в рівні зайнятості:

- *прогнозоване створення нових робочих місць*: 2 500 осіб;

- *вплив на міграцію населення:* підвищення мобільності між регіонами.

Завдання: використовуючи наведену вище етапність виконання роботи,

проаналізувати зміни в рівні зайнятості після будівництва лінії, оцінити вплив на доступність для маломобільних груп населення; розробити рекомендації, визначити соціальні переваги для населення регіону (підвищення якості життя, доступ до освіти, медичних послуг тощо).

Варіант 5. Аналіз технічних і економічних передумов для будівництва високошвидкісного руху на ділянці між Києвом та Одесою.

Вихідні дані:

- *протяжність ділянки:* 270 км.

Стан інфраструктури:

- *технічний стан колії*: потребує повної модернізації.

Проблеми з рівнем уклонів на ділянках 60 км (від 3 до 5 %).

Необхідність будівництва нових мостів і тунелів.

- *вартість будівництва:* 10 млрд грн;

- *річний пасажиропотік після запуску:* 2 млн осіб.

Завдання: використовуючи наведену вище етапність виконання роботи,

оцінити технічні проблеми, що можуть виникнути на ділянках із великими уклонами, розрахувати витрати на модернізацію колії та необхідні зміни в інфраструктурі, проаналізувати економічну вигоду від реалізації проєкту в умовах поточного пасажиропотоку.

Варіант 6. Оцінювання правових і нормативних умов для будівництва швидкісного руху на ділянці між Києвом і Львовом.

Вихідні дані:

- *протяжність ділянки:* 350 км.

Існуюча нормативно-правова база:

- законодавчі обмеження на проведення земляних робіт у природоохоронних зонах;

- відсутність стандартів для високошвидкісного руху в Україні;

- потреба в залученні міжнародних інвестицій для фінансування проєкту.

Завдання: оцінити можливі правові бар’єри для будівництва швидкісної лінії, розробити план отримання всіх необхідних дозволів, оцінити необхідність створення нових нормативних актів для підтримки проєкту.

Структура звіту:

1. Вступ. Мета роботи, об'єкт аналізу.

2. Аналіз передумов будівництва швидкісного руху (технічні, економічні, соціальні, екологічні фактори).

3. Методологія та етапи реалізації проєкту.

4. Практична частина: аналіз вибраної дільниці відповідно до варіанта завдання (характеристика дільниці, SWOT-аналіз проєкту, розрахункова частина).

5. Обґрунтування та рекомендації (проєкт соціально-економічного обґрунтування, рекомендації щодо змін у законодавстві, створення нових стандартів для швидкісного руху, стратегії залучення інвесторів).

6. Висновки.

Приклад виконання завдання. Аналіз доцільності будівництва ВШМ дільниці Запоріжжя-Дніпро.

1. Екологічний аналіз: розрахунок ефекту

Однією з важливих переваг переходу на високошвидкісний електричний транспорт є суттєве зменшення вуглецевого сліду.

Вихідні дані:

ECO_2, поточний: 50000 т/р. (викиди існуючими потягами).

ECO_2, швидкісний: 20000 т/р. (прогнозовані викиди).

Розрахунок за формулою

Е екологія = Е CO_2, поточний – Е CO_2, швидкісний,

Е екологія = 50000 - 20000 = 30000 тонн CO_2 на рік.

Висновок: будівництво магістралі допоможе скоротити викиди парникових газів на 60 % щорічно, що відповідає стратегіям «зеленої» економіки та міжнародним кліматичним зобов’язанням.

2. ***SWOT-аналіз проєкту (Запоріжжя – Дніпро)***

Цей метод дає змогу комплексно оцінити потенціал дільниці, що з’єднує два потужні промислові центри (табл. 9.1).

Таблиця 9.1

Сильні сторони (Strengths)	Слабкі сторони (Weaknesses)
Скорочення часу подорожі між великими агломераціями. Високий рівень енергоефективності електричної тяги. Стимулювання економічної інтеграції двох промислових вузлів	Високі капітальні витрати на початковому етапі. Необхідність повної модернізації систем сигналізації (впровадження ERTMS)
Можливості (Opportunities)	**Загрози (Threats)**
Залучення міжнародних грантів та інвестицій (наприклад ЄІБ). Розвиток суміжних галузей: машинобудування та металургії. Збільшення трудової мобільності (можливість жити в одному місті, а працювати в іншому)	Екологічні ризики: проходження через два заповідники (площа 50 км²). Фінансова нестабільність і ризики зміни тарифної політики. Конкуренція з автомобільним транспортом на короткій дистанції (200 км)

3. Рекомендації щодо мінімізації впливу на екосистеми

Оскільки маршрут проходить через природоохоронні території, рекомендовані такі заходи:

Захист заповідників: проєктування траси має максимально огинати зони високої природоохоронної цінності.

Екокоридори: будівництво спеціальних шляхопроводів або тунелів для безперешкодної міграції тварин.

Акустичний захист: встановлення шумозахисних екранів і використання аеродинамічного рухомого складу для зниження стресового впливу на фауну.

Моніторинг: впровадження інтелектуальних систем моніторингу стану довкілля вздовж колій у реальному часі.

Цей аналіз підтверджує, що проєкт «Запоріжжя – Дніпро» має високий екологічний і соціальний потенціал, проте потребує особливої уваги до інженерних рішень у зонах заповідників.

6. Висновки. Підсумкове оцінювання доцільності реалізації проєкту на вибраній дільниці. Роль сучасних технологій моніторингу та керування для забезпечення сталого розвитку транспортної мережі.

Література [1, 4, 6-14].

ПРАКТИЧНА РОБОТА 10
ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ РУХОМ НА ШВИДКІСНИХ ЗАЛІЗНИЦЯХ

Мета роботи: ознайомити здобувачів із принципами роботи автоматизованих систем керування рухом (АСКР) на швидкісних залізницях, їхніми основними функціями, можливими перевагами та недоліками, а також навчити аналітично оцінювати ефективність цих систем для забезпечення безпеки і надійності руху по швидкісних магістралях.

Теоретичний матеріал

Загальні відомості про автоматизовані системи керування рухом (АСКР)

Автоматизовані системи керування рухом – це комплекс технічних засобів, програмного забезпечення та організаційних заходів, спрямованих на забезпечення безпечного, надійного та ефективного керування рухом по залізничних коліях. АСКР використовують сучасні технології для автоматичного або частково автоматичного керування рухом поїздів, моніторингу стану інфраструктури та оперативного керування рухом в умовах високих швидкостей.

Основними функціями АСКР є:

- автоматичне керування рухом поїздів: регулювання швидкості, дистанція між поїздами, зупинка на сигнал;

- ***моніторинг інфраструктури:*** виявлення несправностей на шляху, контроль стану колії, сигналізації та інших елементів інфраструктури;

- передавання даних у реальному часі: комунікація між поїздом і центром керування для оперативного реагування на ситуації;

- аналіз даних і прогнозування: обробка інформації про рух, стан колії, технічні засоби для прогнозування можливих ситуацій і усунення загроз.

Компоненти АСКР для швидкісних магістралей

На швидкісних залізничних лініях АСКР мають низку специфічних вимог і компонентів, що дають змогу гарантувати безпечний рух на високих швидкостях:

- інтелектуальні системи сигналізації та зв'язку: призначені для моніторингу і керування рухом на великих відстанях;

- системи керування швидкістю: автоматично регулюють швидкість руху поїздів для забезпечення безпеки зі зміною умов руху;

- с***истеми моніторингу стану поїздів та колії:*** призначені для виявлення несправностей на рухомому складі або в інфраструктурі, які можуть вплинути на безпеку;

- дистанційне керування: забезпечують віддалене керування рухом поїздів для підвищення ефективності руху та зменшення людського фактора.

Переваги та недоліки, які дає використання АСКР на швидкісних магістралях

У сучасному світі швидкісні залізничні магістралі набувають все більшого значення для забезпечення ефективного і безпечного перевезення пасажирів і вантажів. Одним із найважливіших факторів, що сприяють їхньому розвитку, є використання автоматизованих систем керування рухом. Ці системи призначені для автоматизації процесів керування рухом поїздів, зниження людського фактора, підвищення безпеки і збільшення ефективності використання залізничної інфраструктури.

Розглянемо переваги та недоліки використання АСКР на швидкісних магістралях, а також їхній вплив на загальну ефективність залізничного транспорту.

До *переваг* використання автоматизованих систем керування рухом поїздів можно віднести:

1. *Підвищення безпеки руху*. Однією з найбільших переваг використання АСКР є значне підвищення безпеки руху на швидкісних

залізничних магістралях. Системи автоматичного контролю швидкості, сигналізації та дистанційного керування допомагають оперативно реагувати на зміни в умовах руху, запобігаючи можливим аварійним ситуаціям. АСКР здатні вчасно знизити швидкість поїзда в разі небезпеки, наприклад із наближенням до перехрестя або виявленням несправностей в інфраструктурі.

2. *Зменшення людського фактора.* Людський фактор є однією з основних причин аварій і нещасних випадків на залізницях. АСКР допомагають значно зменшити участь людини в процесах керування рухом, що знижує ймовірність помилок через втомленість або неуважність оператора. Автоматизація дає змогу забезпечити постійну моніторингову взаємодію між поїздом і центром керування, що зменшує можливість людських помилок у критичних ситуаціях.

3. *Підвищення ефективності використання інфраструктури*. Використання АСКР дає змогу значно збільшити пропускну споможність залізничної магістралі, оскільки ці системи здатні точно регулювати інтервали між поїздами. Автоматичне керування допомагає зменшити час простоїв і зупинок поїздів, що особливо важливо для швидкісних магістралей, де кожна хвилина є важливою для забезпечення високої ефективності роботи.

4. *Економічні переваги*. Завдяки автоматизації багатьох процесів, таких як регулювання швидкості, моніторинг стану інфраструктури та керування рухом, знижується потреба в постійній участі оператора та персоналу на місцях. Це дає змогу зменшити витрати на обслуговування та експлуатацію залізничних ліній, навчання та підготовку кадрів. Крім того, автоматизовані системи можуть оптимізувати використання енергетичних ресурсів, що також призводить до економії коштів.

5. *Оперативність і гнучкість*. Автоматизовані системи допомагають швидко реагувати на зміну умов руху, таких як зміни в погодних умовах, технічні несправності або інші непередбачувані ситуації. АСКР дають змогу

централізовано контролювати всі аспекти руху на магістралі, що забезпечує високий рівень оперативності в керуванні та ухваленні рішень.

Недоліки використання автоматизованих систем керування рухом поїздів:

1. *Висока вартість впровадження та обслуговування*. Основним недоліком АСКР є значні витрати на їх розроблення, впровадження та обслуговування. Встановлення автоматизованих систем потребує великих капітальних вкладень, а також постійного технічного обслуговування та оновлення програмного забезпечення. Це може стати значною фінансовою перепоною для багатьох залізничних компаній.

2. *Залежність від технологій і збоїв у системах*. Оскільки АСКР переважно базовані на високих технологіях, існує ризик їхніх збоїв, які можуть призвести до серйозних наслідків для безпеки руху. Збої в системах сигналізації, моніторингу або керування можуть викликати затримки руху, нещасні випадки або навіть катастрофи, якщо не будуть оперативно виявлені та усунуті.

3. Потреба у висококваліфікованих кадрах. Незважаючи на те, що АСКР зменшують участь людини в керуванні, для їхнього ефективного функціонування необхідні висококваліфіковані спеціалісти, які здатні вчасно виявити і виправити збої в системі. Це також потребує додаткових витрат на підготовку кадрів і підтримку високого рівня кваліфікації персоналу.

4. Вразливість до кіберзагроз. Автоматизовані системи керування рухом поїздів уразливі до ризику кіберзагроз. Хакерські атаки можуть призвести до порушення роботи систем, маніпуляцій із даними або навіть серйозних інцидентів. Оскільки ці системи потребують постійного підключення до мережі, важливо забезпечити належний рівень захисту від потенційних атак.

5. Негнучкість у випадку непередбачуваних ситуацій. У деяких випадках АСКР можуть виявитися не надто гнучкими в реагуванні на

непередбачувані ситуації, що потребують інтуїтивних рішень від оператора. Автоматизація не завжди може передбачити всі варіанти розвитку подій, особливо в разі складних або аварійних ситуацій, що потребують нестандартних рішень.

Використання автоматизованих систем керування рухом на швидкісних залізничних магістралях має численні переваги, серед яких підвищення безпеки, ефективності використання інфраструктури, економічні вигоди та зменшення людського фактора. Однак потрібно враховувати і недоліки, такі як висока вартість впровадження, залежність від технологій, потреба у кваліфікованих кадрах і вразливість до збоїв у системах.

Отже, хоча АСКР пропонують значні переваги для швидкісних магістралей, їх впровадження має бути зваженим і супроводженим відповідними заходами для мінімізації можливих ризиків і недоліків.

Загальні завдання практичного заняття:

1. Вивчити основи роботи АСКР на швидкісних залізницях.
2. Ознайомитися з характеристиками сучасних автоматизованих систем керування рухом.
3. Оцінити ефективність роботи АСКР на прикладі різних варіантів.
4. Оцінити вплив автоматизованих систем на безпеку та пропускну спроможність руху.
5. Оцінити ефективність впровадження автоматизованих систем керування рухом на швидкісних залізницях.

Завдання за варіантом

Варіант 1

1. Оцінити ефективність автоматизованої системи керування швидкістю на швидкісній лінії.
2. Оцінити вплив АСКР на керування швидкістю руху поїздів на швидкісній магістралі.

3. Скласти діаграму, що показує зміну швидкості поїзда із входженням на ділянку з обмеженою швидкістю.

Варіант 2

1. Змоделювати ситуації для аналізу безпеки руху з використанням АСКР.

2. Створити модель ситуації на швидкісній магістралі, де АСКР автоматично знижує швидкість поїзда з виявленням технічних несправностей.

3. Проаналізувати ефективність системи вчасного реагування на нестандартні ситуації.

Варіант 3

1. Порівняти пропускну спроможність магістралі з та без АСКР.

2. Порівняти пропускну спроможність швидкісної залізничної лінії до та після впровадження автоматизованої системи керування рухом.

3. Використати математичні моделі для розрахунку змін у пропускній спроможності та зменшенні затримок.

Варіант 4

1. Оцінити економічну ефективність впровадження АСКР.

2. Розрахувати вартість впровадження АСКР на короткотривалий і довготривалий періоди.

3. Порівняти витрати на експлуатацію залізничної лінії до та після впровадження АСКР.

Варіант 5

1. Проаналізувати технічні характеристики компонентів АСКР для швидкісних ліній.

2. Провести технічний аналіз основних компонентів АСКР, таких як системи сигналізації, контролю швидкості та моніторингу інфраструктури.

3. Оцінити їхню ефективність у контексті забезпечення безпеки та надійності швидкісного руху.

Варіант 6

1. Розробити рекомендації з покращення ефективності АСКР на конкретній ділянці.

2. Використовуючи дані про існуючу інфраструктуру і систему керування рухом на швидкісній магістралі, розробити рекомендації для покращення ефективності АСКР.

3. Зробити пропозиції щодо вдосконалення технічних рішень для підвищення безпеки та пропускної спроможності.

Висновки. Узагальнення результатів про вплив АСКР на безпеку та ефективність швидкісного залізничного транспорту. Обґрунтування необхідності зваженого підходу та заходів із мінімізації технологічних ризиків у разі впровадження систем.

Структура звіту

1. Вступ. Мета роботи, визначення АСКР.
2. Функціональна архітектура та елементи АСКР (основні функції, технічні компоненти).
3. Аналіз переваг і недоліків впровадження АСКР (позитивні аспекти, ризики та виклики).
4. Практичний розрахунок і моделювання відповідно до варіанта завдання - побудова логічних схем, діаграм або аналітичних розрахунків.
5. Аналіз технічних характеристик і рекомендації щодо вдосконалення системи на конкретній дільниці.
6. Висновки.

Література [1, 4, 6-14].

ПРАКТИЧНА РОБОТА 11
АНАЛІЗ УПРАВЛІНСЬКИХ І ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ ЄВРОПЕЙСЬКОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЗАЛІЗНИЧНИМ РУХОМ (ERTMS)

Мета роботи: ознайомити здобувачів з основними принципами, структурою та елементами Європейської системи керування залізничним рухом (ERTMS), проаналізувати технічні рішення та управлінські підходи, а також оцінити вплив цієї системи на підвищення ефективності, безпеки та взаємодії залізничного транспорту.

Теоретичний матеріал

Загальні відомості про ERTMS

Європейська система керування залізничним рухом (ERTMS – European Rail Traffic Management System) – це сучасна технологічна платформа, створена для стандартизації залізничного руху в Європі та забезпечення високого рівня безпеки, ефективності і взаємодії залізничних мереж. Вона була розроблена для розв’язання проблем, пов'язаних із різними національними системами сигналізації та керування, які перешкоджали створенню єдиного залізничного простору в Європі.

Призначення системи ERTMS ERTMS має на меті досягнення таких цілей:

1. Уніфікація залізничних стандартів. *С*творення єдиного стандарту керування та сигналізації для всіх країн-членів Європейського Союзу і забезпечення взаємодії різних залізничних мереж завдяки уніфікованим технічним рішенням.

2. Підвищення рівня безпеки. Досягнення цього рівня заплановано за рахунок автоматизації контролю швидкості руху поїздів і контролю дотримання вимог сигналів, а також зменшення ризику людських помилок завдяки автоматизації процесів керування рухом.

3. Забезпечення економічності системи. Це має бути досягнуто за рахунок скорочення витрат на експлуатацію та обслуговування завдяки стандартизації обладнання, оптимізації використання залізничної інфраструктури.

4. Підвищення швидкості та пропускної спроможності через забезпечення можливості для руху високошвидкісних потягів та оптимального керування потоками руху для зменшення затримок.

5. Забезпечення сумісності з різними системами. Виконання цього завдання передбачає поступове заміщення національних систем керування рухом на загальноевропейські та можливість використання динамічної сумісності між старими та новими системами.

6. Стандартизація процедур. Цього можна досягнути за рахунок спрощення процесу сертифікації обладнання та уніфікації вимог щодо персоналу.

7. Підвищення конкурентоспроможності залізничного транспорту. Виконання цих цілей є наслідком збільшення частки перевезень на залізничному транспорті завдяки зручності та безпеці, а також сприяння розвитку міжнародних перевезень.

ERTMS виконує ряд завдань, спрямованих на досягнення цих зазначених цілей. Вона здійснює моніторинг швидкості та маршруту рухомого складу в реальному маштабі часу, автоматичну зупинку поїзда в разі порушення вимог сигналів або перевищення швидкості. Також вона виконує ряд вимог із запобігання аварійним ситуаціям.

ERTMS є важливою системою для створення єдиного європейського залізничного простору. Вона сприяє уніфікації стандартів, підвищенню безпеки та ефективності перевезень, а також зменшенню витрат на обслуговування інфраструктури. Завдяки своїм завданням і призначенню, ERTMS є важливим кроком на шляху до модернізації залізничного транспорту і забезпечення його сталого розвитку в майбутньому.

Історія створення та впровадження ERTMS

Історія створення та впровадження ERTMS відображає розвиток технологій і прагнення до інтеграції залізничної мережі Європи. У 1980-1990-х роках у Європі існувало понад 20 різних систем сигналізації, що значно складнювало перетин кордонів залізничним транспортом. Необхідність підвищення ефективності та безпеки залізничних перевезень стала основним драйвером для розроблення єдиної системи. У 1996 році Європейська Комісія розпочала проєкт із розроблення єдиного стандарту для залізничного транспорту. Було створено групу UNISIG, яка об'єднала провідні компанії в галузі залізничної сигналізації для розроблення технічних специфікацій. Європейська система контролю поїздів (ETCS) стала основою для автоматизованого керування рухом, забезпечуючи контроль швидкості та сигналів. Глобальна система мобільного зв’язку для залізниць (GSM-R) була впроваджена для надійного зв'язку між поїздами та центрами керування.

У 2000 році було затверджено перші технічні специфікації для взаємодії (TSI) у рамках ERTMS і виконана уніфікація стандартів, яка забезпечила сумісність між обладнанням різних виробників і країн. Перші випробування ERTMS відбулися на окремих ділянках у Швеції та Італії. Успішне тестування підтвердило ефективність системи та її переваги порівняно з національними системами сигналізації.

Починаючи з 2005 року розпочалося широкомасштабне впровадження ERTMS на основних коридорах TEN-T (Транс'європейська транспортна мережа). Швейцарія стала однією з перших країн, яка реалізувала ERTMS для тунелю Готтард.

Сьогодні ERTMS використовують у понад 20 країнах Європи та за її межами, зокрема в Китаї та на Близькому Сході. Постійне оновлення стандартів сприяє впровадженню нових технологій, таких як ETCS Level 3.

Історія створення та впровадження ERTMS є прикладом успішної співпраці між урядами, промисловістю і міжнародними організаціями.

Завдяки цій системі вдалося досягти значного прогресу в інтеграції залізничного транспорту, підвищенні його безпеки та ефективності. У майбутньому ERTMS залишатиметься основним елементом розвитку залізничного транспорту як у Європі, так і світі.

Компоненти ERTMS

ERTMS – це сучасна технологічна платформа, яка включає низку важливих компонентів, що забезпечують ефективне керування рухом поїздів, підвищення безпеки та оптимізацію використання залізничної інфраструктури. Усі компоненти ERTMS працюють у взаємодії, забезпечуючи уніфікацію стандартів і взаємодію залізничних мереж Європи та світу.

Основними компонентами ERTMS є:

1. Європейська система контролю поїздів (ETCS – European Train Control System). Система призначена для забезпечення автоматичного контролю швидкості поїзда і його дотримання вимог сигналів. Система має три рівні:

Рівень 1: використання наземних баліз для передавання даних про сигнали та швидкість.

Рівень 2: передавання даних у реальному часі через GSM-R, що забезпечує централізоване керування.

Рівень 3: базований на супутниковому моніторингу, усуваючи необхідність у традиційних сигнальних пристроях.

2. Глобальна система мобільного зв'язку для залізниць (GSM-R). Призначена для забезпечення надійного зв'язку між локомотивними бригадами, диспетчерами та центрами керування рухом. Працює на основі стандарту GSM, адаптованого для потреб залізничного транспорту. Має підтримку голосового зв'язку та передавання даних. Ця система здатна забезпечити високу надійність, сумісність із ETCS та інтеграцію з існуючими мережами.

3. Центральна система керування (RBC – Radio Block Center). Ця система виконує функцію обробки даних про місцезнаходження поїздів, забезпечуючи точне керування рухом, отримує дані від поїздів через GSM-R і визначає дозвіл на рух залежно від поточної поїздної ситуації на лінії.

4. Наземна інфраструктура. У системі широкого використання знайшли балізи – це спеціальні пристрої, розташовані на рейках, що передають дані про маршрут і швидкість до бортових систем поїздів. Сигнальні пристрої використовували на початкових етапах впровадження ERTMS для сумісності зі старими системами.

5. Бортове обладнання. Призначене для забезпечення обробки сигналів, отриманих від наземної інфраструктури та системи GSM-R. У своєму складі має комп'ютер ETCS для розрахунку швидкості та маршруту і пристрої зв'язку для передавання даних до центру керування.

6. Системи інтеграції. Виконують роль забезпечення сумісністі між компонентами ERTMS та існуючими системами керування залізничним рухом, а також забезпечення перехідних рішень під час модернізації інфраструктури. Підтримують старі та нові стандарти на різних ділянках залізниць.

Компоненти ERTMS є основою для інтеграції залізничних мереж, підвищення безпеки і ефективності перевезень. Завдяки взаємодії ETCS, GSM-R, наземної інфраструктури та бортового обладнання система забезпечує сучасний рівень керування залізничним рухом. Впровадження цих технологій дає змогу створити єдиний європейський залізничний простір і сприяє розвитку транспортної галузі в усьому світі.

7. Глобальна система мобільного зв'язку для залізниць (GSM-R) (Global System for Mobile Communications - Railway). Ця система призначена для забезпечення надійного зв'язку між локомотивними бригадами та центрами керування і передавання даних про маршрути і показання сигналів в реальному часі. Завдяки своїй функціональності GSM-

R підвищує ефективність і безпеку перевезень, а також сприяє інтеграції європейської залізничної мережі.

Основними функціями GSM-R є:

- забезпечення прямого зв'язку між машиністами, диспетчерами та іншими службами;

- використання пріоритетних каналів для екстрених викликів;

- надсилання інформації про стан руху, сигнали, швидкість та інші критично важливі дані;

- синхронізація роботи з іншими компонентами ERTMS, зокрема Європейською системою контролю поїздів (ETCS);

- взаємодія з системами сигналізації та керування рухом;

- підтримка комунікації між національними мережами, забезпечуючи сумісність.

До ***переваг*** використання GSM-R можно віднести:

- використання спеціалізованих частот для залізничного транспорту, що знижує ризик перешкод;

- захищені канали зв’язку для передавання конфіденційної інформації;

- можливість адаптації до різних умов експлуатації;

- сумісність з існуючими технологіями та готовність до впровадження нових рішень;

- забезпечення зв'язку в екстрених ситуаціях;

- автоматичне оновлення даних про місцезнаходження поїздів.

Роль GSM-R у системі ERTMS. GSM-R є елементом, який забезпечує безперебійну комунікацію між рухомим складом і центрами керування. Його роль полягає в передаванні команд керування від диспетчерських центрів до машиністів та інтеграції з системою ETCS для автоматичного контролю швидкості та дотримання маршрутів прямування.

GSM-R відіграє важливу роль у забезпеченні зв'язку між рухомим складом і центрами керування. Вона підвищує безпеку, ефективність і

оперативність залізничного транспорту, забезпечуючи надійну комунікацію в рамках сучасної інфраструктури.

Завдання:

1. Дослідити структуру та компоненти ERTMS.
2. Оцінити технічні рішення, що застосовують у системі (ETCS, GSM-R).
3. Проаналізувати управлінські рішення для впровадження ERTMS.
4. Розглянути приклади реалізації ERTMS у країнах Європи.
5. Обґрунтувати пропозиції та скласти логічні алгоритми поетапного впровадження окремих елементів системи ERTMS в Україні.

Етапи виконання роботи

1. Підготовчий етап

1.1. Ознайомитися з теоретичним матеріалом.

1.2. Розглянути основні компоненти системи ERTMS.

1.3. Вивчити стандарти і нормативні документи, які регламентують впровадження ERTMS у Європі (наприклад, TSI Control-Command and Signaling).

2. Виконання практичної роботи

2.1. Аналіз технічних рішень:

- описати рівні ETCS (Level 1, Level 2, Level 3) і їхні особливості;
- проаналізувати функції GSM-R і його роль у забезпеченні зв’язку між поїздами та центрами керування;
- визначити переваги та недоліки різних рівнів ETCS порівняно з традиційними системами сигналізації.

2.2. Оцінювання управлінських рішень:

- розглянути підходи щодо планування впровадження ERTMS у різних країнах (наприклад Німеччина, Франція, Іспанія);
- визначити основні фактори успішного впровадження системи (фінансування, стандартизація, підготовка персоналу).

2.3. Аналіз прикладів реалізації ERTMS:

- вибрати одну країну для детального аналізу (наприклад Швейцарія, де ERTMS використовують для перевезень через тунель Готтард);

- розглянути технічні та управлінські аспекти реалізації системи.

2.4. Розроблення рекомендацій для України:

- оцінити можливість впровадження окремих елементів ERTMS в Україні;

- розглянути бар'єри для впровадження (технічні, фінансові, організаційні) і можливі шляхи їх подолання.

3. Підсумковий етап

3.1. Підготувати звіт із результатами роботи (у форматі Word або PDF).

3.2. Розробити презентацію для подання основних висновків.

3.3. Подати результати роботи під час дистанційного заняття.

Структура звіту:

1. Вступ (актуальність теми, мета роботи).
2. Аналіз структури та компонентів ERTMS.
3. Оцінювання технічних рішень (ETCS, GSM-R).
4. Аналіз управлінських підходів до впровадження.
5. Приклад реалізації ERTMS у вибраній країні.
6. Рекомендації та логіка етапності інтеграції ERTMS на залізничній мережі Україні.
7. Висновки.

Література [1, 4, 6-14].

ПРАКТИЧНА РОБОТА 12
АНАЛІЗ ПЕРЕВАГ І НЕДОЛІКІВ СИСТЕМ ІНТЕРВАЛЬНОГО РЕГУЛЮВАННЯ РУХУ ПОЇЗДІВ НА ПЕРЕГОНАХ ШВИДКІСНИХ І ВИСОКОШВИДКІСНИХ ДІЛЬНИЦЬ

Мета роботи: засвоїти принципи роботи систем інтервального регулювання руху поїздів, провести порівняльний аналіз їхніх переваг і недоліків на прикладі європейських і світових високошвидкісних залізничних дільниць.

Теоретичний матеріал

1. Загальні відомості про системи інтервального регулювання (ETCS, CBTC, ATC та інші). Системи інтервального регулювання руху поїздів відіграють важливу роль у гарантуванні безпеки, ефективності та оптимізації залізничного руху. Їх використовують для керування інтервалами між поїздами, що дає змогу зменшити ризик аварій і підвищити пропускну спроможність залізничної інфраструктури. Серед найпоширеніших систем інтервального регулювання – ETCS (Європейська система контролю поїздів), CBTC (Система керування рухом на основі зв'язку) та ATC (Автоматичне керування потягами).

Європейська система контролю поїздів (ETCS). Система забезпечує контроль за рухом поїздів відповідно до сигналів і дозволів, що передають із наземної інфраструктури. *Має три рівні:*

- *рівень 1*: використовує балізи для передавання сигналів до бортового обладнання;

- *рівень 2:* дані передають через GSM-R, даючи змогу отримувати інформацію в реальному часі;

- *рівень 3*: забезпечує повністю мобільне керування рухом без необхідності у фіксованих сигнальних пристроях.

Система має досить високий рівень безпеки, уніфікована до залізничних стандартів у Європі.

Система керування рухом на основі зв'язку (CBTC). Використовують для автоматичного керування рухом поїздів, переважно на метрополітенах і міських залізничних лініях. Система використовує технологію передавання даних через бездротові канали та забезпечує моніторинг місцезнаходження поїздів у реальному часі.

Автоматичне керування потягами (ATC). Ця система забезпечує автоматичне регулювання швидкості та гальмування поїздів відповідно до умов на лінії. Здійснює автоматичний контроль швидкості (ATS), автоматичне керування потягами (ATO). Також вона використовує автоматичну блокувальну систему (ATP). Широко використовувана у високошвидкісних системах (наприклад Shinkansen у Японії).

Positive Train Control (PTC). Систему використовують у США для запобігання зіткнень і сходження поїздів із рейок. Вона інтегрує дані про маршрути, швидкість і стан інфраструктури.

Automatic Train Operation (ATO). Система забезпечує автоматичний запуск і зупинку поїздів. Зазвичай використовують разом із CBTC або ATC.

Automatic Block Signaling (ABS). Це класична система, що базована на поділі лінії на блок-ділянки. Контроль за поїздами здійснюють за допомогою світлофорів і рейкових кіл.

Системи інтервального регулювання руху є невід'ємною складовою сучасних залізничних мереж. Вибір конкретної системи залежить від типу залізничної лінії, інтенсивності руху та фінансових можливостей. Інтеграція цих технологій дає змогу підвищити безпеку, ефективність і комфорт перевезень.

2. Світовий досвід експлуатації та приклади застосування систем регулювання руху на ВШМ. Системи інтервального регулювання руху поїздів є основою для забезпечення безпеки та ефективності на швидкісних

і високошвидкісних залізничних маршрутах. Використання таких систем допомагає оптимізувати інтервали між поїздами, збільшити пропускну спроможність і забезпечити дотримання графіка руху. Розглянемо приклади застосування систем ETCS, CBTC, ATC тощо на різних залізничних лініях у світі.

Європейський коридор Рейн-Альпи. ETCS рівня 2 використовують для гарантування високого рівня безпеки та інтеграції між національними залізничними системами. Передавання даних через GSM-R допомагає контролювати в реальному часі, оптимізуючи рух поїздів.

Високошвидкісна лінія LGV Est (Франція). У цій країні впровадження ETCS дало змогу інтегрувати нові потяги в існуючу мережу, забезпечуючи їх уніфікованість. Висока точність допомогла зменшити інтервали між поїздами.

Метрополітен Лондона (Велика Британія). Лінії Jubilee та Northern використовують CBTC для забезпечення мінімального інтервалу між поїздами, що сприяє збільшенню пасажиропотоку.

Метрополітен Сінгапуру. Використання CBTC дало змогу повністю автоматизувати рух поїздів, забезпечуючи високу ефективність і безпеку.

Shinkansen (Японія). Використання системи ATC забезпечило автоматичний контроль швидкості, допомогло підтримувати високий рівень безпеки на маршрутах зі швидкістю до 320 км/год. Використання інтервального регулювання руху поїздів сприяло точному дотриманню графіка.

Магістраль Тайваню. На цій магістралі з використанням ATC гарантовані безпека на високошвидкісній лінії Тайвань–Тайбей та інтеграція в неї автоматичного контролю і моніторингу.

BNSF та Union Pacific (США). Використання PTC дало змогу зменшити кількість аварій завдяки запобіганню перевищенню швидкості та зіткнень. Система інтегрує GPS, дані про стан інфраструктури та автоматизовані сповіщення.

В Австралії на вантажних маршрутах використовують систему Advanced Train Management System (ATMS), яка допомагає оптимізувати логістичні процеси.

У Китаї високошвидкісні лінії, такі як Пекін-Шанхай, оснащені інноваційними системами інтервального регулювання на базі національного стандарту CTCS (Chinese train control system) рівнів 3 та 4 для безпечного руху на швидкостях понад 350 км/год.

Практичне застосування систем інтервального регулювання руху поїздів демонструє їхню ефективність щодо забезпечення безпеки, точності та швидкості перевезень. Інноваційні технології, такі як ETCS, CBTC, ATC, PTC, дають змогу адаптувати керування рухом до умов конкретних регіонів, сприяючи розвитку залізничної інфраструктури в глобальному масштабі.

3. Виклики, із якими стикаються країни світу з впровадженням систем регулювання руху поїздів швидкісних і високошвидкісних магістралей. Інтервальне регулювання руху поїздів є однією зі складових систем керування рухом на залізницях. Особливо важливою ця проблема є для швидкісних і високошвидкісних залізничних дільниць, де необхідність забезпечення високої пропускної спроможності та безпеки на великих швидкостях стає критично важливою. Впровадження ефективних систем інтервального регулювання дає змогу не лише збільшити інтенсивність руху, а і знизити ризики аварійних ситуацій, поліпшити ефективність керування транспортними потоками та зменшити витрати на експлуатацію.

Однак країни, що прагнуть впровадити такі системи, стикаються з численними викликами, що обумовлені як технічними, так і економічними, соціальними та організаційними факторами.

Технічні виклики

Багато країн мають застарілу залізничну інфраструктуру, яка не здатна підтримувати високу інтенсивність руху поїздів на великих швидкостях. Для впровадження ефективних систем інтервального

регулювання необхідно модернізувати колії, сигнальні системи, станції та пристрої керування. Вартість таких модернізацій може бути надзвичайно високою, а час на реалізацію значним. Системи інтервального регулювання руху потребують інтеграції новітніх технологій, таких як автоматизовані системи контролю та моніторингу, GPS-трекінг, системи бездротового зв'язку для обміну даними в реальному часі. Забезпечення надійної роботи цих систем в умовах швидкого руху поїздів потребує високої точності і стабільності технологічних рішень.

Інтеграція автоматичних систем регулювання потребує оновлення існуючої інфраструктури залізничних шляхів, зокрема сигналізаційних систем, колій, станцій і засобів зв'язку. Це є необхідною умовою для забезпечення точного обміну даними та безперебійної роботи системи. У країнах із застарілою інфраструктурою модернізація може бути дуже дорогою і потребувати значних витрат на інвестиції в нові технології.

Для забезпечення ефективного регулювання руху поїздів на високих швидкостях необхідні високоточні та надійні технології автоматичного контролю. Це включає впровадження сучасних систем зв'язку, навігації, моніторингу та керування. Забезпечення сумісності цих технологій з існуючими системами, а також їх інтеграція в міжнародні мережі є складним завданням, оскільки кожна країна використовує власні стандарти і технології.

Незважаючи на те, що автоматизація допомагає значно знизити людський фактор, системи автоматичного регулювання повинні мати високий рівень безпеки для запобігання технічним збоям або кібератакам. Одним із завдань є створення надійних систем резервування, здатних працювати в умовах несправностей або витоку даних.

Економічні виклики

Впровадження систем автоматичного регулювання руху поїздів потребує значних інвестицій. Це включає витрати на оновлення інфраструктури, придбання нового обладнання і створення програмного

забезпечення, щоб здійснювати автоматичне керування. Для багатьох країн, особливо тих, що знаходяться на етапі економічного розвитку, такі витрати можуть бути надзвичайно великими та непосильними.

Попри високі початкові витрати, автоматичні системи можуть дати значні економічні вигоди в довгостроковій перспективі завдяки підвищенню ефективності експлуатації, зменшенню витрат на технічне обслуговування та запобіганню аваріям. Однак точне оцінювання економічної ефективності таких інвестицій потребує детального аналізу і може бути складною на етапі планування.

Соціальні та організаційні виклики

Автоматизація може призвести до скорочення кількості робочих місць у залізничному секторі, особливо для працівників, які безпосередньо займаються регулюванням руху поїздів. Зниження попиту на традиційні професії потребує впровадження програм перепідготовки та забезпечення соціальних гарантій для працівників, які можуть втратити роботу.

Перехід до нових технологій

Запровадження автоматичного регулювання передбачає великий навчальний процес для співробітників залізничних компаній, які повинні освоїти нові технології та системи керування. Це включає підготовку операторів, технічного персоналу, інженерів і диспетчерів для роботи з новими системами. Витрати на навчання та перепідготовку можуть бути значними, але вони необхідні для забезпечення успішної інтеграції нових технологій.

Відсутність єдиного стандарту

У багатьох країнах відсутність єдиного міжнародного стандарту для автоматичних систем регулювання руху поїздів ускладнює їх впровадження та інтеграцію. Різноманітність національних і міжнародних стандартів безпеки, керування та експлуатації може призвести до проблем у взаємодії між різними країнами та залізничними мережами.

Правові аспекти автоматизації

Інтеграція автоматичних систем регулювання потребує створення нової нормативної бази, яка б регулювала питання безпеки, відповідальності, права на доступ до інформації та інші юридичні аспекти. Це може бути складним процесом, оскільки потребує змін у законодавстві, а також втілення нових правил і стандартів безпеки для роботи з автоматизованими системами.

Політичні виклики

Проєкти з автоматизації залізничного руху можуть зазнати політичних змін, які вплинуть на їх фінансування та реалізацію. У країнах із політичною нестабільністю інвестиції в таку інфраструктуру можуть бути відкладені або припинені через зміни в урядовій політиці.

Успішна реалізація таких проєктів потребує потужної політичної підтримки і стратегічних рішень від урядів, а також співпраці з міжнародними фінансовими установами та організаціями. Не завжди наявність достатнього політичного бажання і підтримки може гарантувати успішну реалізацію таких високотехнологічних рішень.

Отже, впровадження систем автоматичного регулювання руху поїздів на швидкісних і високошвидкісних магістралях є досить складним і багатогранним процесом, що потребує подолання значних технічних, економічних, соціальних, правових і політичних викликів. Проте, незважаючи на ці труднощі, автоматизація руху поїздів є важливим кроком у розвитку залізничного транспорту, сприяючи підвищенню ефективності, безпеки та екологічності транспорту. Тільки за наявності комплексного підходу щодо розв’язання цих проблем можна забезпечити успішне впровадження сучасних автоматизованих систем у світовій залізничній мережі.

Загальне завдання для практичної роботи:

1. Ознайомитися з теоретичними основами систем інтервального регулювання руху поїздів.

2. Вивчити основні типи таких систем, що використовують на швидкісних і високошвидкісних дільницях.

3. Проаналізувати переваги і недоліки кожної системи з огляду на безпеку, ефективність і вартість.

4. Підготувати звіт з аналізом і висновками.

Порядок виконання роботи

Підготовчий етап:

- ознайомитися з матеріалами лекцій, статтями та іншими ресурсами;

- розібратися у принципах роботи систем автоматичного регулювання рухом поїздів.

Основний етап:

- виконати порівняльний аналіз вибраних систем за варіантом за такими критеріями:

а) технологічні можливості;

б) рівень безпеки;

в) ефективність руху (частота рейсів, пропускна спроможність);

г) вартість впровадження та експлуатації;

д) екологічність;

- використати реальні дані про дільниці високошвидкісних залізниць для обґрунтування своїх висновків.

Заключний етап:

- оформити результати аналізу у вигляді звіту;

- навести приклади вдосконалення систем, запропонувати власні рекомендації.

Варіанти завдань для виконання практичної роботи

Варіант 1. Технологічні можливості.

Мета: порівняти технологічні можливості трьох систем автоматичного регулювання руху поїздів для високошвидкісних магістралей.

Вихідні дані:

Система 1: використовує GPS для моніторингу руху поїздів і вбудовану автоматичну систему керування сигналами.

Система 2: інтеграція з інтелектуальними транспортними системами, використовує супутниковий зв'язок для передавання даних.

Система 3: використовує радіочастотну ідентифікацію (RFID) для моніторингу поїздів та інтеграцію з іншими транспортними мережами.

Критерії для аналізу:

1. Сумісність з існуючими залізничними інфраструктурами.
2. Можливість інтеграції з міжнародними стандартами.
3. Прогнозована надійність технологій на високих швидкостях.
4. Гнучкість у налаштуваннях для різних типів поїздів.

Варіант 2. Рівень безпеки.

Мета: оцінити рівень безпеки в трьох системах автоматичного регулювання.

Вихідні дані:

Система 1: система з автоматичним зупиненням поїзда в разі виявлення перешкоди.

Система 2: використовує високошвидкісні радарні системи для моніторингу дистанції між поїздами та безперервний моніторинг стану колії.

Система 3: підтримка автоматичної зупинки в разі виявлення аномалій у русі з додатковими функціями виявлення несправностей на вагонах.

Критерії для аналізу:

1. Імовірність виникнення аварійних ситуацій.
2. Час реагування системи на перешкоди чи несправності.
3. Використання резервних систем для підвищення надійності.
4. Кількість фатальних інцидентів за останні п’ять років.

Варіант 3. Ефективність руху (частота рейсів, пропускна спроможність).

Мета: оцінити ефективність трьох систем автоматичного регулювання відносно частоти рейсів і пропускної спроможності магістралі.

Вихідні дані:

Система 1: забезпечує можливість організації рейсів з інтервалами в 10 хв за високої інтенсивності руху.

Система 2: має високі пропускні можливості до 50 поїзд/год на лінії з автоматичним керуванням.

Система 3: підвищує пропускну спроможність через оптимізацію швидкості поїздів із можливістю зменшення інтервалу між рейсами до 5 хв.

Критерії для аналізу:

1. Кількість поїздів, що можуть курсувати на годину.
2. Зменшення часу між рейсами за різних рівнях трафіка.
3. Сумісність з іншими транспортними системами в межах магістралі.
4. Статистика про затримки через технологічні збої.

Варіант 4. Вартість впровадження та експлуатації.

Мета: порівняти вартість впровадження та експлуатації трьох систем автоматичного регулювання руху поїздів.

Вихідні дані:

Система 1: вартість впровадження 100 млн дол., річна експлуатація – 10 млн дол.

Система 2: вартість впровадження 120 млн дол., річна експлуатація – 8 млн дол.

Система 3: вартість впровадження 95 млн дол., річна експлуатація – 12 млн дол.

Критерії для аналізу:

1. Початкові витрати на розгортання системи.

2. Річні витрати на технічне обслуговування та підтримку.

3. Очікувані витрати на модернізацію протягом 10 років.

4. Окупність інвестицій через зменшення витрат на обслуговування та затримки.

Варіант 5. Екологічність.

Мета: оцінити екологічність трьох систем автоматичного регулювання руху поїздів.

Вихідні дані:

Система 1: використовує енергоефективні алгоритми керування для зниження споживання енергії.

Система 2: впроваджує технології для мінімізації викидів вуглекислого газу в процесі автоматичного регулювання.

Система 3: спеціалізована для оптимізації використання енергії та зниженні шумового забруднення.

Критерії для аналізу:

1. Викиди CO_2 на одиницю перевезеного пасажира.
2. Споживання енергії за постійної роботи системи.
3. Вплив на навколишнє середовище в разі аварії.
4. Зменшення рівня шуму під час руху поїздів.

Варіант 6. Порівняння за комбінованими критеріями.

Мета: загальний порівняльний аналіз трьох систем автоматичного регулювання за всіма критеріями.

Вихідні дані:

Система 1: висока технологічна можливість, середній рівень безпеки, висока пропускна спроможність, висока вартість впровадження.

Система 2: середня технологічна можливість, високий рівень безпеки, середня пропускна спроможність, середня вартість впровадження.

Система 3: середня технологічна можливість, низький рівень безпеки, висока пропускна спроможність, низька вартість впровадження.

Критерії для аналізу:

1. Загальна вартість впровадження та експлуатації.
2. Час на досягнення максимального рівня безпеки.
3. Порівняння пропускної спроможності та ефективності руху.
4. Оцінювання екологічності та впливу на навколишнє середовище.

Структура звіту

1. Вступ. Мета роботи, значення систем.

2. Загальна характеристика систем інтервального регулювання.

3. Світовий досвід експлуатації систем на ВШМ.

4. Аналіз викликів із впровадженням систем.

5. Практична порівняльна частина (за варіантом завдання).

6. Рекомендації та пропозиції: власні пропозиції з удосконалення систем автоматичного регулювання. Шляхи подолання правових і технічних бар'єрів для інтеграції в міжнародні мережі.

7. Висновки. Узагальнення результатів порівняльного аналізу. Підтвердження важливості автоматизації для сталого розвитку залізничного транспорту.

Література [1, 4, 6-14, 21].

ПРАКТИЧНА РОБОТА 13
РОЗРОБЛЕННЯ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ ДЛЯ ПРОЄКТУВАННЯ ВИСОКОШВИДКІСНОЇ МАГІСТРАЛІ

Мета заняття: ознайомити здобувачів із процесом розроблення технічного завдання для проєктування високошвидкісної залізничної магістралі; набуття практичних навичок із розроблення технічного завдання з урахуванням специфікацій, вимог безпеки, пропускної спроможності, а також впливу на навколишнє середовище.

Теоретичний матеріал

1. Поняття технічного завдання (ТЗ) для проєктування залізничної магістралі. Технічне завдання (ТЗ) для проєктування високошвидкісної залізничної магістралі є основним документом, який визначає вимоги щодо проєктування інфраструктури, систем безпеки, комунікацій, автоматизації та інших компонентів, необхідних для безпечного та ефективного функціонування магістралі. ТЗ є основою для розроблення проєкту, підготовки планів робіт і визначення необхідних ресурсів.

Основні етапи розроблення технічного завдання:

1. Визначення обсягів робіт: опис ділянки, на якій буде відбуватися проєктування, зокрема довжина, географічне положення та кліматичні умови.

2. Оцінювання пропускної спроможності: визначення кількості поїздів, які мають проходити через магістраль в одиницю часу, з урахуванням швидкості руху та інтервалів.

3. Технічні вимогищо до інфраструктури: розрахунок параметрів колії, стрілочних переводів, мостів, тунелів, естакад. Визначення типів високошвидкісних поїздів, для яких проєктують магістраль.

4. Безпека руху: визначення вимог щодо системи сигналізації, зв'язку, контролю за рухом поїздів, а також систем аварійної зупинки.

5. Екологічні вимоги: аналіз впливу проєкту на навколишнє середовище, включаючи шум, викиди та вплив на природні ресурси.

6. Економічна оцінка: оцінювання витрат на проєктування, будівництво та експлуатацію магістралі.

2. Склад технічного завдання для проєктування високошвидкісної магістралі. *Технічне завдання включає кілька основних розділів:*

- *вступ:* опис проєкту, основні вимоги щодо магістралі, мета проєкту;

- *характеристики ділянки:* опис місцевості, включаючи кліматичні умови, географію, специфіку ґрунтів, наявність природних або штучних перешкод;

- *технічні характеристики магістралі:* тип колії, схеми станцій, швидкість руху поїздів, типи поїздів;

- *системи керування та безпеки:* опис вимог щодо автоматичних систем контролю та керування рухом;

- *вимоги щодо екології та інфраструктури*: визначення вимог щодо шуму, викидів, впливу на навколишнє середовище;

- *організаційно-економічні вимоги*: вартість проєкту, терміни виконання, ресурси, необхідні для виконання робіт;

- *Розроблення технічного завдання для конкретної дільниці залізничної магістралі*.

1. Характеристики ділянки:

- визначити географічне положення ділянки, урахувати можливі природні перешкоди (річки, гори, ліси), що можуть вплинути на конструкцію колії та будівництво тунелів і мостів;

- оцінити необхідність у будівництві додаткових інфраструктурних об'єктів (станцій, депо).

2. Технічні вимоги:

- описати типи колії (двоколійна високошвидкісна колія);

- визначити максимальну швидкість руху поїздів на ділянці (300 км/год);

- розробити вимоги щодо інфраструктури для забезпечення максимальної безпеки (сигналізація, система контролю швидкості, автоматичне керування рухом).

3. Системи керування та безпеки:

- впровадити сучасні системи сигналізації, такі як ETCS (European Train Control System), для забезпечення безперервного контролю та керування рухом;

- оцінити необхідність в автоматичному регулюванні інтервалів між поїздами.

4. Екологічні вимоги:

- забезпечити використання енергоефективних технологій для зниження рівня викидів CO_2;

- проаналізувати можливі джерела шумового забруднення та розробити заходи для їх зниження (звукоізоляція, захисні екрани на станціях).

5. Економічна оцінка:

- оцінити загальні витрати на проєктування та будівництво лінії;

- визначити витрати на обслуговування та експлуатацію магістралі;

- проаналізувати можливі джерела фінансування проєкту (гранти, державні інвестиції, міжнародні кредити).

Приклад технічного завдання на проєктування високошвидкісної магістралі

Загальні положення

Назва проєкту: проєктування високошвидкісної залізничної магістралі між містами Київ і Харків.

Мета проєкту: створення сучасної високошвидкісної магістралі для забезпечення безпечного, швидкого та екологічно чистого транспортування пасажирів і вантажів.

Основні показники:

Протяжність магістралі: 380 км.

Максимальна швидкість руху: 300 км/год.

Пропускна спроможність: не менше 25 пар поїздів на годину.

Вихідні дані

Географічні умови: магістраль проходить через області з рівнинною місцевістю, перетинає кілька річок (Дніпро, Сула) і лісисті зони.

Кліматичні умови: помірно континентальний клімат із температурами від -20 °C взимку до +35 °C влітку.

Технічні умови:

- використання стандартної колії шириною 1520 мм;
- електрифікація магістралі: змінний струм 25 кВ.

3. Вимоги щодо проєкту

3.1. Інфраструктура

Колійна система:

- двоколійна система на всій протяжності;
- використання рейок типу Р65 з високою стійкістю до зношення.

Станції:

- будівництво двох основних станцій (Київ, Харків) і проміжних (Бровари, Переяслав-Хмельницький, Полтава, Лубни);
- забезпечення умов для обслуговування високошвидкісних поїздів, включаючи системи автоматичного огляду.

3.2. Засоби автоматизації та зв'язку

1. Впровадження системи ETCS Level 2 (Європейська система керування рухом поїздів).
2. Використання централізованого диспетчерського керування.

3. Система автоматичного регулювання інтервалів між поїздами.

4. Забезпечення постійного моніторингу стану колії та обладнання.

3.3. Системи енергопостачання

1. Забезпечення надійного електропостачання через підстанції.

2. Використання енергоефективних технологій для зниження витрат енергії.

3. Резервні джерела живлення на критичних об’єктах.

3.4. Екологічні вимоги

1. Впровадження шумозахисних екранів у населених пунктах.

2. Використання будівельних матеріалів, що не завдають шкоди довкіллю.

3. Зменшення викидів CO_2 під час експлуатації до мінімального рівня.

3.5. Безпека

1. Автоматичні системи аварійного гальмування.

2. Система сповіщення про несправності поїздів.

3. Захист колії від несанкціонованого доступу.

4. Етапи виконання проєкту

Підготовчий етап:

- проведення геодезичних та екологічних досліджень;

- оцінювання впливу на довкілля.

Проєктувальний етап:

- розроблення генерального плану магістралі;

- підготовка технічної документації.

Будівництво та монтаж:

- спорудження колії, мостів, тунелів, станцій;

- встановлення систем автоматизації та сигналізації;

- випробування та введення в експлуатацію;

- проведення тестових випробувань;

- сертифікація магістралі;

- введення в комерційну експлуатацію.

5. Технічні показники проєкту

Швидкість руху: до 300 км/год.

Інтервали між поїздами: не більше 3 хв.

Мінімальна ширина колії: 1520 мм.

Максимальна вантажопідйомність мостів: 250 т.

6. Економічні вимоги

Орієнтовна вартість проєкту: 2,5 млрд дол. США.

Термін окупності: 15 років.

Джерела фінансування: державний бюджет, міжнародні кредити, приватні інвестиції.

7. Особливі умови

1. Врахувати можливість інтеграції магістралі до міжнародної залізничної мережі.

2. Забезпечити адаптацію для можливого збільшення швидкості до 350 км/год.

3. Передбачити резервні плани для аварійних ситуацій.

Завдання для самостійної роботи згідно з варіантом:

1. Створити схему для проєктування ділянки високошвидкісної лінії, використовуючи Google Maps і свій варіант завдання з урахуванням типу місцевості та природних умов.

2. Визначити технічні параметри для проєктування лінії з максимальним значенням швидкості руху 300 км/год.

3. Розробити план впровадження систем автоматичного керування та контролю за рухом поїздів для забезпечення безпеки.

4. Провести розрахунок екологічних характеристик для зниження впливу на навколишнє середовище.

Порядок виконання завдання

1. Ознайомитися із теоретичним матеріалом про технічне завдання для проєктування високошвидкісних магістралей.

2. Використовуючи вихідні дані, розробити технічне завдання для вказаної ділянки залізничної магістралі.

3. Підготувати презентацію або звіт, що містить розроблені параметри та пояснення щодо вибраних рішень.

Варіанти завдання для виконання практичної роботи

Варіант 1

Ділянка: Київ – Бровари.

Довжина ділянки: 20 км.

Наявність природних перешкод: немає значних природних перешкод, рівнинна місцевість, переважно відкриті території.

Наявність тунелів і мостів: мости через малі річки.

Наявність засобів автоматизації: система сигналізації та автоматизованого керування рухом (САКР).

Кількість колій на перегоні: дві колії.

Варіант 2

Ділянка: Бровари – Переяслав-Хмельницький.

Довжина ділянки: 40 км.

Наявність природних перешкод: наявність річки Дніпро, невеликі лісисті ділянки.

Наявність тунелів і мостів: мости через річку Дніпро.

Наявність засобів автоматизації: автоматичне керування та система контролю швидкості поїздів.

Кількість колій на перегоні: дві колії.

Варіант 3

Ділянка: Переяслав-Хмельницький – Полтава.

Довжина ділянки: 80 км.

Наявність природних перешкод: рівнинна місцевість, відсутність великих природних перешкод.

Наявність тунелів і мостів: немає тунелів, кілька мостів через малі річки.

Наявність засобів автоматизації: система сигналізації, автоматичне регулювання інтервалів руху.

Кількість колій на перегоні: дві колії.

Варіант 4

Ділянка: Полтава – Лубни.

Довжина ділянки: 50 км.

*Наявність природних перешко*д: рівнинна місцевість, лісисті ділянки на південь від Лубен.

Наявність тунелів і мостів: невеликі мости через річки.

Наявність засобів автоматизації: система автоматичної сигналізації та керування.

Кількість колій на перегоні: дві колії.

Варіант 5

*Ділянка: Л*убни – Суми.

Довжина ділянки: 70 км.

Наявність природних перешкод: річка Сула, лісисті ділянки, невеликі пагорби.

Наявність тунелів і мостів: мости через річку Сула, кілька мостів через малі водотоки.

Наявність засобів автоматизації: встановлені системи автоматичного контролю руху та сигналізації.

Кількість колій на перегоні: дві колії.

Варіант 6.

Ділянка: Суми – Харків.

Довжина ділянки: 120 км.

Наявність природних перешкод: відсутність значних природних перешкод, рівнинна місцевість.

Наявність тунелів і мостів: мости через малі річки.

Наявність засобів автоматизації: повна автоматизація руху, включаючи автоматичне керування сигналами та контролем швидкості.

Кількість колій на перегоні: дві колії.

Загальні характеристики ділянок

Довжина всієї магістралі: 380 км.

Наявність природних перешкод: наявність річок і лісів на окремих ділянках, але загалом територія є рівнинною.

Наявність тунелів і мостів: мости через річки та водотоки на всіх частинах магістралі, відсутність тунелів.

Наявність засобів автоматизації: використання автоматичних систем для керування сигналізацією, контролю швидкості та регулювання руху на всіх ділянках.

Кількість колій: дві колії на всіх частинах магістралі.

Структура звіту

1. Вступ. Мета роботи, об’єкт проєктування.

2. Загальні положення та концепція проєкту.

3. Характеристика дільниці проєктування (за варіантом).

4. Технічні вимоги щодо інфраструктури та рухомого складу.

5. Системи керування, зв'язку та безпеки (впровадження ERTMS\ETCS Level 2).

6. Екологічні та економічні обґрунтування.

7. Етапи реалізації проєкту.

8. ***Висновки.*** Оцінювання достатності розробленого ТЗ для забезпечення стратегічних цілей проєкту. Перспективи модернізації системи для збільшення швидкості до 350 км/год у майбутньому.

Література [1, 4, 6-14].

ПРАКТИЧНА РОБОТА 14
ВИЗНАЧЕННЯ ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ РУХОМ ПОЇЗДІВ НА ШВИДКІСНИХ І ВИСОКОШВИДКІСНИХ ДІЛЬНИЦЯХ

Мета роботи: ознайомити здобувачів із методами визначення техніко-економічної ефективності впровадження швидкісних і високошвидкісних дільниць на залізничному транспорті.

Теоретичний матеріал

1. Загальна характеристика теми

Впровадження швидкісних і високошвидкісних залізничних магістралей є важливим етапом модернізації транспортної системи країни. Такі проєкти дають змогу скоротити час перевезень, знизити експлуатаційні витрати і підвищити конкурентоспроможність залізничного транспорту. Техніко-економічну ефективність визначають через оцінювання витрат на будівництво і експлуатацію та аналіз економічної вигоди від впровадження нових технологій.

Основні критерії оцінювання техніко-економічної ефективності впровадження автоматизованих систем керування рухом поїздів на швидкісних і високошвидкісних дільницях залізничного транспорту

Впровадження автоматизованих систем керування рухом поїздів (АСКР) на швидкісних і високошвидкісних магістралях допомагає значно підвищити рівень експлуатації транспортної інфраструктури. Однак перед широким впровадженням систем необхідно грунтовно проаналізувати їхню техніко-економічної ефективність. АСКР мають забезпечувати надійне керування рухом, мінімізацію аварійних ситуацій і зменшення ризиків людського фактора. При цьому потрібно також оцінити такі аспекти, як зменшення кількості аварій та інцидентів, надійність роботи систем в

умовах підвищеного навантаження, пропускну спроможність і частоту рейсів.

АСКР дають змогу оптимізувати розклад, зменшити інтервали між поїздами, збільшити кількість рейсів на годину.

Економічний аналіз включає визначення витрат на впровадження, експлуатацію та обслуговування систем. При цьому мають бути враховані капітальні вкладення в обладнання, програмне забезпечення і навчання персоналу, а також скорочення витрат на пальне, електроенергію і технічне обслуговування та зростання доходів від збільшення обсягів перевезень.

Автоматизовані системи сприяють зменшенню енергоспоживання та негативного впливу на довкілля за рахунок скорочення викидів парникових газів, зниження рівня шуму і вібрацій, використання екологічно чистих технологій.

Інтеграція з іншими системами

У сучасних умовах розвитку залізничного транспорту інтеграція автоматизованих систем керування рухом поїздів (АСКР) з іншими системами автоматики є важливим напрямом підвищення ефективності, безпеки та надійності перевезень. Така інтеграція забезпечує синхронізацію роботи різних компонентів транспортної інфраструктури, створюючи єдину екосистему для керування залізничним рухом.

Для успішної інтеграції АСКР необхідно забезпечити їхню сумісність із системами сигналізації, енергопостачання, керування інфраструктурою та інформаційними системами. При цьому потрібно дотримуватися міжнародних стандартів (наприклад ETCS, CBTC), узгодження протоколів передавання даних між різними системами та уніфікації апаратного та програмного забезпечення.

Крім того, інтеграція передбачає створення єдиного центру керування, який координує роботу всіх автоматизованих систем і проводить моніторинг руху поїздів у реальному часі, контролює стан залізничної

інфраструктури та автоматично корегує графіки руху в разі надзвичайних ситуацій.

Інтеграція АСКР із системами зв'язку та інформаційними платформами дає змогу передавати дані про розклад, затримки і технічний стан поїздів, надавати пасажирам оперативну інформацію та забезпечувати зв'язок між поїздами і диспетчерськими центрами.

Системи енергопостачання також взаємодіють з АСКР для оптимізації використання електроенергії, моніторингу енергоспоживання кожного поїзда та автоматичного корегування режимів роботи.

Дані з АСКР використовують для планування та проведення ремонтних робіт, визначення зношеності колій і контактної мережі, автоматичного формування графіків технічного обслуговування.

Інтеграція автоматизованих систем керування рухом поїздів з іншими системами автоматики є невід'ємною складовою розвитку сучасного залізничного транспорту. Вона сприяє підвищенню ефективності, безпеки та конкурентоспроможності залізничних перевезень. Успішна реалізація таких проєктів можлива лише за умови дотримання стандартів, використання інноваційних технологій і забезпечення належного рівня кваліфікації персоналу.

2. Методи визначення ефективності впровадження автоматизованих систем керування рухом поїздів

Для оцінювання ефективності впровадження автоматизованих систем керування рухом поїздів використовують різні методи, що враховують технічні, економічні, соціальні та екологічні аспекти.

Основними цілями визначення ефективності впровадження систем є:

- підвищення безпеки руху;
- покращення пропускної спроможності;
- зниження експлуатаційних витрат;
- оптимізація графіків руху.

Методи технічного оцінювання ефективності впровадження автоматизованих систем

Аналіз надійності системи полягає в оцінюванні ймовірності безвідмовної роботи обладнання, моніторингу часу відновлення після відмов і порівнянні показників надійності старих і нових систем.

Оцінювання швидкодії системи полягає у визначенні часу реакції на зміну умов (наприклад несправності чи затримки) і відповідності швидкодії вимогам швидкісного руху.

Інтеграція з іншими системами. Цей аспект оцінювання включає аналіз сумісності з існуючою інфраструктурою та взаємодію із системами сигналізації, зв'язку та керування енергопостачанням.

Оцінювання економічної ефективності

Метод порівняння витрат і вигод (Cost-Benefit Analysis, CBA) полягає в розрахунках економії коштів за рахунок зменшення експлуатаційних витрат і оцінювання вартості впровадження системи порівняно з її перевагами (наприклад скорочення часу перевезення).

Метод оцінювання внутрішньої норми рентабельності (Internal Rate of Return, IRR) полягає в розрахунках рентабельності інвестицій у систему та оцінюванні окупності проєкту.

Аналіз життєвого циклу (Life Cycle Cost Analysis, LCCA) – це оцінювання витрат на проєктування, впровадження, експлуатацію та утилізацію системи.

Соціальні аспекти ефективності. Ці аспекти складаються з оцінок покращення зручністі для пасажирів, таких як зменшення часу подорожі, поліпшення інформаційної доступності для пасажирів, поліпшення умов перевезення пасажирів.

Екологічні критерії полягають в оцінюванні ефективності використання енергоресурсів і впровадженні енергоощадних технологій.

Методи комплексного оцінювання ефективності впровадження автоматизованих систем

Системний аналіз. Суть цього методу полягає в комплексному врахуванні технічних, економічних, соціальних та екологічних аспектів і використанні багатофакторних моделей для оцінювання ефективності.

Імітаційне моделювання – це моделювання роботи системи в різних умовах для визначення її поведінки та ефективності. Використання спеціалізованого програмного забезпечення для аналізу.

Порівняння з міжнародними стандартами. Перевіряють відповідність систем вимогам стандартів (наприклад ETCS, ERTMS) і аналізують успішний досвід інших країн.

Ефективність впровадження автоматизованих систем керування рухом на швидкісних магістралях оцінюють за допомогою комплексного підходу, що включає технічні, економічні, соціальні та екологічні аспекти. Використання сучасних методів аналізу дає змогу не лише оцінити результати, але й оптимізувати процес впровадження, забезпечуючи максимальну вигоду для всіх учасників транспортної системи.

Завдання. Відповідно до варіанта завдання (відрізка залізничного напрямку Київ – Харків), необхідно виконати порівняльний техніко-економічний аналіз наявного та запропонованого стану дільниці за таким планом:

1. Проаналізувати технічну характеристику наданого відрізка згідно з варіантом.
2. Проаналізувати наявні засоби автоматизації та зв'язку.
3. Розробити технічні рекомендації для модернізації відрізка. Запропонувати вдосконалення засобів автоматизації та зв'язку.
4. Сформулювати висновки про переваги впровадження сучасних систем для швидкісної магістралі.
5. Подати результати у вигляді таблиці з порівнянням наявного та запропонованого стану дільниці.

6. Проаналізувати вплив запропонованих систем на безпеку та швидкість руху.

Варіант 1. Відрізок Київ – Бориспіль (35 км, двоколійна) *Наявний стан:* ***електромеханічна централізація стрілок, автоблокування з підлоговими світлофорами***, провідний і телефонний зв'язок. *Модернізація:* встановлення ***ERTMS/ETCS Level 2*** та обладнання цифровим радіозв'язком GSM-R.

Варіант 2. Відрізок Бориспіль – Пирятин (90 км, двоколійна) *Наявний стан:* системи контролю наближення поїздів, застаріле сигнальне обладнання з елементами ручного керування. *Модернізація:* впровадження ***мікропроцесорної централізації*** та інтегрованої системи предиктивного моніторингу рухомого складу.

Варіант 3. Відрізок Пирятин – Полтава (120 км, одноколійна з роз'їздами) *Наявний стан:* напівавтоматичне блокування, телефонний зв'язок між черговими станцій. *Модернізація:* будівництво другої колії, перехід на автоматизовану диспетчерську централізацію з дистанційним керуванням стрілками.

Варіант 4. Відрізок Полтава – Красноград (115 км, двоколійна) *Наявний стан:* механічні пристрої керування сигналізацією, відсутність надійного автоматичного блокування на перегонах. *Модернізація:* встановлення сучасного автоблокування без підлогових світлофорів, інтеграція електронних засобів автоматичної діагностики стану колії.

Варіант 5. Відрізок Красноград – Лозова (95 км, одноколійна) *Наявний стан:* сигнальні пристрої з ручним керуванням, відсутність залізничного радіозв'язку. *Модернізація:* будівництво другої колії, впровадження системи диспетчерського керування та повне покриття мережею GSM-R.

Варіант 6. Відрізок Лозова – Харків (85 км, двоколійна) *Наявний стан:* застаріла релейно-процесорна централізація станцій,

електромеханічні приводи. *Модернізація:* підключення відрізка до єдиної системи керування ***ERTMS Level 2***, інтеграція з автоматизованими комплексами безперервної діагностики інфраструктури.

Структура звіту

1. Вступ. Мета роботи, об’єкт дослідження.

2. Загальна характеристика та критерії оцінювання ефективності.

3. Інтеграція автоматизованих систем (АСКР).

4. Методологія визначення ефективності.

5. Практична частина: аналіз і модернізація відрізка (*згідно з варіантом)*.

6. Розрахунок техніко-економічної ефективності запропонованих рішень.

7. Висновки: узагальнення переваг впровадження сучасних систем для вибраного відрізка магістралі. Підтвердження доцільності модернізації як частини глобальної транспортної системи України.

Приклад оформлення практичної частини (для варіанта 1: Київ – Бориспіль):

Порівняння технічного стану та засобів автоматизації відрізка

Параметр інфраструктури	Наявний стан відрізка	Запропонований стан після модернізації
1	2	3
Система сигналізації та регулювання	Традиційне автоблокування, орієнтація машиніста за підлоговими світлофорами	Система ETCS Level 2, безперервний контроль гальмівної кривої з відображенням даних на бортовому дисплеї
Пристрої централізації на станціях	Електромеханічні або релейні системи керування стрілками та сигналами	Сучасна мікропроцесорна централізація (МПЦ) із резервуванням обчислювальних каналів

Продовження таблиці

1	2	3
Технологічний зв'язок	Провідний перегонний зв'язок, аналоговий телефонний зв'язок диспетчерів	Цифровий залізничний радіозв'язок стандарту GSM-R (інтегрований із RBC для передавання дозволів на рух)
Діагностика обладнання	Періодичний контроль зносу колійними майстрами та вимірювальними вагонами	Безперервна предиктивна діагностика пристроїв автоматики за допомогою стаціонарних IoT-датчиків
Безпека руху поїздів	Залежність від своєчасного ухвалення рішень машиністом (контроль за АЛСН)	Повне виключення людського фактора завдяки автоматичному контролю швидкості та аварійному гальмуванню

Література [1, 4, 6-14].

Бібліографічний список

1. European Union Agency for Railways. ERTMS/ETCS System Requirements Specification (Baseline 3). Valenciennes, 2016. 395 p.

2. Головко Т. В., Прохорченко Г. О. Методичні вказівки до практичних занять та виконання індивідуальних завдань з дисципліни «Безпека руху та ПТЕ залізниць». Харків: УкрДУЗТ, 2025. 41 с.

3. Волошин Д. І. Методичні вказівки до виконання контрольної роботи з дисципліни «Безпека руху та правила технічної експлуатації залізниць». Харків: УкрДУЗТ, 2023. 21 с.

4. CENELEC. EN 50126-1:2017. Railway Applications – Specification and Demonstration of RAMS. Brussels, 2017. 92 p.

5. Про залізничний транспорт: Закон України від 04.07.1996 р. № 273/96-ВР. *Відомості Верховної Ради України*. 1996. № 40. Ст. 183.

6. ДСТУ 4178-2003. Комплекси технічних засобів систем керування та регулювання руху поїздів. Функційна безпечність і надійність. Вимоги та методи випробовування. Київ: Держспоживстандарт України, 2003. 35 с.

7. ДСТУ ISO 31000:2018. Менеджмент ризиків. Принципи та настанови (ISO 31000:2018, IDT). Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2018. 20 с.

8. Інформаційні технології. Криптографічний захист інформації. Алгоритм симетричного потокового перетворення: затв. Наказом ДП «УкрНДНЦ» від 02.04.2019 р. № 85. Чинний 2019-10-01. URL: https://zakon.rada.gov.ua.

9. ДСТУ EN 50126-1:2019. Залізничний транспорт. Специфікація та демонстрування надійності, доступності, безпеки та ремонтопридатності (РАМН). Частина 1. Основні вимоги та загальний процес (EN 50126-1:2017, IDT). Чинний 2020-01-01. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2019. 104 с.

10. ДСТУ EN 50129:2019. Залізничний транспорт. Системи зв’язку сигналізації та оброблення даних. Електронні сигналізаційні системи

безпеки (EN 50129:2018, IDT). Чинний 2020-01-01. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2019. URL: https://online.budstandart.com.

11. Правила технічної експлуатації залізниць України: затв. Наказом Міністерства транспорту України від 20.12.1996 р. № 411, зареєстр. в Міністерстві юстиції України 25.02.1997 р. за № 50/1854. URL: https://zakon.rada.gov.ua.

12. Інструкція з руху поїздів і маневрової роботи на залізницях України: затв. Наказом Міністерства транспорту та зв'язку України від 31.08.2005 р. № 507. Чинна 2006-04-01. URL: https://zakon.rada.gov.ua.

13. Інструкція з сигналізації на залізницях України: затв. Наказом Міністерства транспорту та зв'язку України від 23.06.2008 р. № 747. Чинна 2009-01-01. URL: https://zakon.rada.gov.ua.

14. Двосторонні системи автоблокування. Завдання і методичні вказівки до практичних занять, виконання контрольної роботи та самостійної роботи з дисципліни «Системи автоматики на перегонах». Харків, 2010. 15 с.

Практикум

Сотник Василь Олександрович,

Змій Сергій Олексійович

Щебликіна Олена Вікторівна

ІНФРАСТРУКТУРНІ СКЛАДОВІ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕКИ РУХУ НА ШВИДКІСНИХ МАГІСТРАЛЯХ

Відповідальний за випуск Щебликіна О. В.

Редактор Ібрагімова Н. В.

Підписано до друку 15.06.2026 р.
Умовн.-друк.арк. 9,5. Тираж . Замовлення № .

Видавець і виготовлювач Український державний університет
залізничного транспорту,
61050, Харків-50, майдан Феєрбаха, 7.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 6100 від 21.03.2018 р.