

**УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ**

ФАКУЛЬТЕТ УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСАМИ ПЕРЕВЕЗЕНЬ

Кафедра управління експлуатаційною роботою

**ОРГАНІЗАЦІЯ ШВИДКІСНИХ
ТА ВИСОКОШВИДКІСНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ**

Конспект лекцій

Частина 1

Харків – 2021

Організація швидкісних та високошвидкісних перевезень:
Конспект лекцій / А. В. Прохорченко, Т. Ю. Калашнікова,
Д. В. Константінов, П. В. Долгополов. – Харків: УкрДУЗТ, 2021. –
Ч. 1. – 62 с.

У конспекті лекцій наведено світовий досвід організації високошвидкісного руху, основні критерії та принципи організації високошвидкісних перевезень, існуючі моделі експлуатації високошвидкісних магістралей, організацію руху поїздів на високошвидкісних лініях, сучасну систему централізованого управління та організацію диспетчерського управління рухом на високошвидкісних лініях, графіки руху поїздів і види пропускної спроможності на швидкісних і високошвидкісних магістралях, сучасні рішення в питаннях автоматизації управління рухом.

Рекомендовано при проходженні курсу дисципліни «Організація швидкісних та високошвидкісних перевезень» для здобувачів вищої освіти другого (магістерського) рівня спеціальності 275.02 «Транспортні технології (на залізничному транспорті)».

Іл. 21, бібліогр. 24 назв.

Конспект лекцій розглянуто і рекомендовано до друку на засіданні кафедри управління експлуатаційною роботою 9 березня 2021 р., протокол № 11.

Рецензент

проф. О. М. Огар

ЗМІСТ

Вступ.....	5
Тематичний план навчальної дисципліни.....	6
ЛЕКЦІЯ 1. Світовий досвід організації високошвидкісного руху. Основні критерії та принципи організації високошвидкісних перевезень.....	7
1.1 Світовий досвід організації високошвидкісного руху.....	7
1.2 Основні критерії та принципи організації високошвидкісних перевезень.....	10
ЛЕКЦІЯ 2. Способи і моделі експлуатації ВШМ, основні швидкісні категорії ВШМ.....	10
2.1 Моделі експлуатації ВШМ.....	11
2.2 Розподіл ліній ВШМ на швидкісні групи.....	13
2.3 Фактори, що обумовлюють розподіл ліній ВШМ на швидкісні групи.....	14
ЛЕКЦІЯ 3. Організація руху на ВШМ з урахуванням вимог до інфраструктури та рухомого складу.....	17
3.1 Варіанти організації руху поїздів на лініях ВШМ.....	17
3.2 Фактори, що ускладнюють організацію високошвидкісного руху в зимовий час.....	23
ЛЕКЦІЯ 4. Сучасна система централізованого управління та контролю руху поїздів на лініях ВШМ.....	23
4.1 Технічне регулювання високошвидкісного залізничного транспорту в ЄС.....	25
4.2 Європейська система управління залізничним транспортом ERTMS.....	27
4.3 Особливості влаштування глобальної системи мобільного залізничного радіозв'язку GSM-R.....	34
ЛЕКЦІЯ 5 Основні принципи організації диспетчерського управління перевезеннями на лініях ВШМ.....	31
5.1 Улаштування системи диспетчерського управління.....	32
5.2 Рівні диспетчерського управління.....	34
5.3 Функціональна структура системи ERTMS.....	36
ЛЕКЦІЯ 6. Графік руху поїздів і надійність розкладу руху високошвидкісних поїздів на лініях ВШМ.....	39
6.1 Графік руху поїздів на ВШМ та його значення.....	39
6.2 Класифікація графіків руху поїздів на ВШМ.....	42

6.3	Визначення резерву часу (буфера) для оптимізації пропускання високошвидкісних поїздів.....	44	
ЛЕКЦІЯ 7. Пропускна спроможність на лініях ВШМ та методи її визначення.....			45
7.1	Види пропускнуої спроможності на лініях ВШМ.....	45	
7.2	Аналіз методів розрахунку пропускнуої спроможності ВШМ.....	47	
7.3	Знімання поїздів в умовах змішаного руху на ВШМ.....	50	
ЛЕКЦІЯ 8. Автоматизація диспетчерського управління перевізним процесом на лініях ВШМ.....			53
8.1	Автоматизація диспетчерського управління.....	53	
8.2	Сучасні інтелектуальні системи диспетчерського управління.....	55	
8.3	Програмні комплекси оптимізації графіка руху високошвидкісних поїздів.....	57	
Список літератури.....			60

ВСТУП

Підвищення швидкостей руху транспортних засобів є одним з основних факторів, що впливає на стрімкий розвиток залізничного транспорту та інфраструктури. Водночас, коли потреба в перевезеннях залізничним транспортом збільшується, з'являється необхідність впровадження передових технологій і науково обґрунтованих досягнень у сфері швидкісних і високошвидкісних перевезень залізничним транспортом.

Метою вивчення курсу дисципліни «Організація швидкісних та високошвидкісних перевезень» є набуття знань з основоположних принципів організації швидкісних і високошвидкісних залізничних перевезень, вивчення основ управління рухом на високошвидкісних магістралях, основ безпеки руху швидкісних і високошвидкісних поїздів та організації обслуговування пасажирів на базі функціонування сучасних вокзальних комплексів залізниць України та світу.

Навчальна дисципліна базується на знаннях вищої математики, комп'ютерної техніки, інформаційних систем, теорії транспортних процесів, теорії систем і управління, основ управління експлуатаційною роботою залізниць та організації пасажирських перевезень.

Конспект лекцій може використовуватись слухачами різних форм здобуття вищої освіти за спеціальністю 275.02 «Транспортні технології (на залізничному транспорті)» для самостійного опрацювання матеріалу дисципліни «Організація швидкісних та високошвидкісних перевезень».

**ТЕМАТИЧНИЙ ПЛАН НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ
«ОРГАНІЗАЦІЯ ШВИДКІСНИХ
ТА ВИСОКОШВИДКІСНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ»**

Тема лекції	Кількість годин
ЛЕКЦІЯ 1. Світовий досвід організації високошвидкісного руху. Основні критерії та принципи організації високошвидкісних перевезень	2
ЛЕКЦІЯ 2. Способи і моделі експлуатації ВШМ, основні швидкісні категорії ВШМ	2
ЛЕКЦІЯ 3. Організація руху на ВШМ з урахуванням вимог до інфраструктури та рухомого складу	2
ЛЕКЦІЯ 4. Сучасна система централізованого управління та контролю руху поїздів на лініях ВШМ	2
ЛЕКЦІЯ 5. Основні принципи організації диспетчерського управління перевезеннями на лініях ВШМ	2
ЛЕКЦІЯ 6. Графік руху поїздів та надійність розкладу руху високо-швидкісних поїздів на лініях ВШМ	2
ЛЕКЦІЯ 7. Пропускна спроможність на лініях ВШМ та методи її визначення	2
ЛЕКЦІЯ 8. Автоматизація диспетчерського управління перевізним процесом на лініях ВШМ	2

ЛЕКЦІЯ 1. Світовий досвід організації високошвидкісного руху. Основні критерії та принципи організації високошвидкісних перевезень

План

1.1 Світовий досвід організації високошвидкісного руху.

1.2 Основні критерії та принципи організації високошвидкісних перевезень.

1.1 Світовий досвід організації високошвидкісного руху

На концептуальному рівні розвиток мереж високошвидкісних магістралей (ВШМ, англ. High Speed Rail або HSR) можна виділити кілька підходів. До перших можна віднести відокремлений розвиток топології мережі, тобто лінії ВШМ повністю ізолюються від загальної залізничної мережі (Японія, Іспанія). Другий напрям передбачає розвиток розгалуженої мережі спеціалізованих ліній, на яких поїзди здатні розвивати швидкість 250–300 км/год з можливістю часткової взаємодії зі звичайною мережею (Франція). Останній напрям найбільш економічний – припускає змішаний варіант розвитку мережі швидкісних сполучень на основі модернізації існуючих залізничних ліній для можливості руху пасажирських поїздів до 200 км/год (Німеччина, Італія). Даний підхід передбачає застосування пасажирських поїздів, які здатні рухатися по лініях звичайної залізничної мережі [1].

Комерційний успіх високошвидкісних мереж світу ґрунтується на зменшенні тривалості поїздки (до 3 год в дорозі), що дозволяє конкурувати з автомобільним та авіаційним транспортом. Високошвидкісні залізниці вигідніші, ніж звичайні, якщо не враховувати вартість будівництва інфраструктури. Причиною є те, що багато експлуатаційних витрат, наприклад штат, мають фіксовані витрати на годину, водночас, як дохід від квитка заснований на відстані. Пасажири також платять більше за високу швидкість. Таким чином, експлуатаційне співвідношення доходу і вартості більше для високошвидкісних систем, а отже

якщо існує потенційний попит на перевезення, то доходи будуть випереджати витрати [2].

Загалом існує два типи залізничної інфраструктури залежно від дозволеної швидкості ліній, хоча на даний момент не існує абсолютного визначення категорій залізниці.

Класичні лінії – це залізничні лінії зі швидкістю до 160 км/год. Як правило, це стандартні залізниці змішаного типу перевезень, переважно вантажних, а максимальна швидкість на них часто набагато нижче за теоретичну максимальну швидкість пасажирського рухомого складу. Робоча швидкість може бути оптимізована для вантажних перевезень, якщо вони домінують у змішаному типі перевезень.

Високошвидкісні залізничні лінії (також називаються Lignes Grande Vitesse, або швидкісні лінії LGV) визначаються Міжнародним Союзом Залізниць (МСЗ) і Євросоюзом (ЄС) як стандартні, з дозволеною максимальною швидкістю понад 200 км/год, або як нові лінії, з передбаченою максимальною швидкістю понад 250 км/год. Усі високошвидкісні залізничні лінії LGV Великобританії, Франції, Німеччини, Бельгії, Нідерландів, Іспанії та Італії, прокладені протягом останніх 30 років, мають проектну швидкість лінії 300 км/год або більше [3].

Згідно з нормативами ЄС високошвидкісні лінії включають:

- спеціально побудовані швидкісні лінії, оснащені інфраструктурою для реалізації швидкостей, що дорівнюють або більше 250 км/год;

- спеціально модернізовані швидкісні лінії, оснащені інфраструктурою для реалізації швидкостей близько 200 км/год;

- спеціально модернізовані швидкісні лінії, які мають особливі характеристики в результаті топографічних, рельєфних або будівельних обмежень (наприклад по мосту), на яких швидкість повинна адаптуватися в кожному окремому випадку [3].

Ці лінії використовуються виключно для денних перевезень швидкісними та високошвидкісними пасажирськими поїздами з відносно низьким навантаженням на вісь, а рух поїздів уночі відсутній. На високошвидкісних лініях зазвичай нема вантажних перевезень, але є поодинокі випадки легких вантажних перевезень (наприклад пошти і посилок).

Лінії LGV спеціально побудовані для конкретних категорій високошвидкісних поїздів і огорожені по всій протяжності для запобігання несанкціонованому доступу, без переїздів чи іншого перетинання в одному рівні або відкритого доступу до лінії. Є дві основні концепції конструкції колії.

1 Конструкція Французької LGV зазвичай передбачає колії, прокладені близько до існуючої позначки землі, з керівним ухилом до 30 ‰, і невеликою кількістю тунелів.

2 Німецькі та італійські норми проектування в цілому вважають за краще проектування в різних рівнях, що вимагає великої кількості земляних робіт і тунелів, особливо в гірських місцевостях.

Обидві методології передбачають ретельну охорону навколишнього середовища щодо шумоізоляції і наявність неглибоких тунелів, щоб захистити залізничну колію у міських або вразливих навколишніх середовищах.

Високошвидкісні магістралі, як правило, обслуговують звичайні вокзали в центрі міста, з уведенням в них нових колій, так що останні кілька кілометрів маршруту можуть долатися на відносно низькій швидкості. Деякі нові вокзали будуються за межами міста, найчастіше у випадках, коли залізнична магістраль перетинає автомагістралі або проходить повз аеропорт, щоб створити потенціал для взаємодії видів транспорту.

Більшість європейських мереж знаходиться в межах Шенгенської зони, тому нема жодної необхідності в поділі потоків пасажирів і формальному проведенні митних процедур. За необхідності митні формальності, як правило, здійснюються в поїзді, коли він знаходиться в дорозі, хоча для сполучення через тунель під Ла-Маншем із Франції до Великобританії оформлення митних та імміграційних процедур має відбуватися на станції відправлення перед відправленням (так само, як і при подорожі літаком). Цікаво відзначити, що французькі та англійські митники спільно працюють по обидві сторони з'єднання через тунель на головних залізничних вокзалах.

1.2 Основні критерії та принципи організації високошвидкісних перевезень

До критеріїв організації високошвидкісного руху належать такі: безпека; залежність від метеоумов; вплив на навколишнє середовище; гнучкість цін; послуги в дорозі; логістика та бронювання місць; емоційний комфорт; фізіологічний комфорт; захист від терористичних загроз; страхування; загальний час поїздки. Критерії емоційного і фізичного комфорту тісно пов'язані, при їхньому оцінюванні враховують параметри питомого простору на пасажирів, вібрації, шуму, стану повітря, температури, зручності меблів і ін.

Основні принципи організації високошвидкісного руху були сформульовані в рамках роботи Міжнародного союзу залізниць (МСЗ) [4].

Перший принцип встановлює, що високошвидкісний залізничний рух вимагає побудови складної комплексної системи, яка включає до себе різноманітні компоненти:

- норми, правила, технології проектування і будівництва залізничної колії, штучних споруд, систем електропостачання, СЦБ і зв'язку, станційного господарства і вокзальних комплексів, рухомого складу;

- норми, правила і процедури обслуговування станційних пристроїв і рухомого складу;

- систему фінансування, процедури маркетингу, принципи і систему управління.

Другий принцип визначає, що високошвидкісні залізничні системи мають бути уніфіковані за функціональним призначенням, але можуть відрізнятися за виконанням, експлуатаційними характеристиками, комерційним і вартісним показниками.

ЛЕКЦІЯ 2. Способи і моделі експлуатації ВШМ, основні швидкісні категорії ВШМ

План

2.1 Моделі експлуатації ВШМ.

2.2 Розподіл ліній ВШМ на швидкісні групи

2.3 Фактори, що обумовлюють розподіл ліній ВШМ на швидкісні групи

2.1 Моделі експлуатації ВШМ

Варіанти моделей експлуатації ВШМ, або типи систем високошвидкісного сполучення, визначаються порядком здійснення експлуатаційного завантаження технічних засобів високошвидкісної і звичайної залізничної інфраструктури і характеризуються комбінацією таких складових:

- високошвидкісні поїзди;
- «класичні» поїзди;
- високошвидкісні залізничні лінії;
- звичайні залізничні лінії (рисунок 2.1).

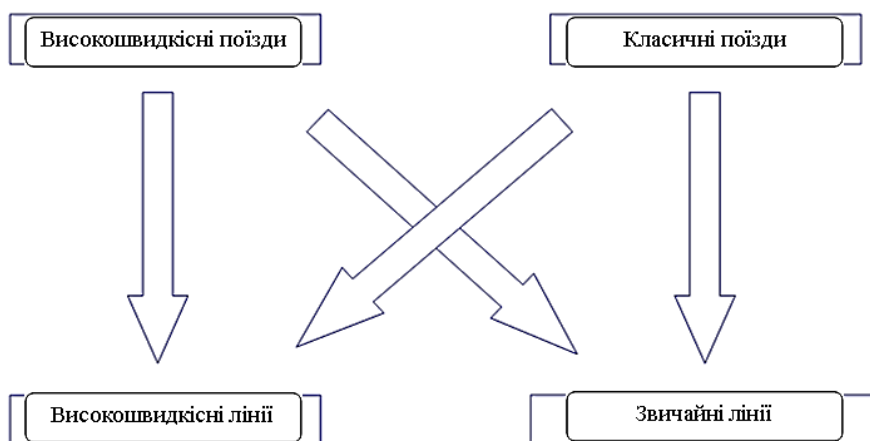


Рисунок 2.1 – Варіанти моделей експлуатації ВШМ

Розрізняють чотири типи експлуатаційних моделей, що можуть бути ідентифіковані в різних високошвидкісних залізничних системах світу залежно від їхньої взаємодії зі звичайними залізничними системами [5].

1 Повністю спеціалізована модель (перший тип систем високошвидкісного сполучення) (англ. exclusive exploitation model) характеризується повним відокремленням високошвидкісного руху від традиційних перевезень, повним поділом між ВШМ і звичайними залізничними магістралями, кожна з яких має власну інфраструктуру і систему господарювання. Ця модель використовується в Японії, де

основною причиною розвитку системи високошвидкісної залізниці було те, що звичайні лінії досягли своїх меж потужності. Однією з основних переваг даної моделі є незалежність перевізних систем High Speed Rail (HSR) і традиційних залізничних пасажирських перевезень.

2 Змішана високошвидкісна модель (другий тип систем високошвидкісного сполучення) характеризується можливістю експлуатації швидкісних поїздів як на спеціально побудованих нових лініях ВШМ, так і модернізованих сегментах звичайних ліній. Ця модель відповідає французькій системі TGV (Train à Grande Vitesse), де високошвидкісні поїзди не тільки прямують по нових високошвидкісних лініях, але й використовуються на звичайних лініях в районах, де дублювання було недоцільним (при підходах до вокзалів у центрі міста). Такий підхід знижує витрати на будівництво, що дозволяє суттєво знизити витрати на впровадження високошвидкісного руху і є однією з головних переваг цієї моделі.

3 Змішана традиційна модель (третій тип систем високошвидкісного сполучення) (англ., mixed conventional model) дозволяє пропускання деяких звичайних поїздів по високошвидкісних залізничних лініях у період відсутності на них високошвидкісного руху. Основними перевагами цієї моделі є підвищення продуктивності звичайних поїздів без значних впливів на рух високошвидкісних поїздів, а також гнучкість у наданні послуг високошвидкісних перевезень за визначеними маршрутами. Прикладом цієї моделі може бути використання на залізницях Іспанії поїздів TALGO з розсувними колісними парами. Такі поїзди можуть використовуватися на лініях з різною шириною колії. Звичайний пасажирський поїзд TALGO може виходити на спеціалізовані високошвидкісні магістралі, реалізуючи на них швидкість більшу, ніж на традиційних лініях, але меншу за високошвидкісні поїзди.

4 Повністю змішана модель (четвертий тип систем високошвидкісного сполучення) (англ. fully mixed model) передбачає використання і високошвидкісних і звичайних поїздів на інфраструктурі всіх швидкісних категорій. Така система дає можливість забезпечити максимальну гнучкість експлуатації перевізних засобів усіх швидкісних категорій, оскільки і

високошвидкісні і звичайні поїзди можуть працювати з відповідними швидкостями на кожному виді інфраструктури. Платою за універсальність є значне збільшення витрат на технічне обслуговування. Ця модель використовується у Німеччині на лініях з поїздами ICE, де високошвидкісні поїзди застосовують модернізовані звичайні лінії, а вантажні поїзди резервну пропускну спроможність на високошвидкісних лініях у нічний час. Хоча дана модель може знизити витрати на будівництво, витрати на технічне обслуговування значно вище, і можуть призвести до зниження пропускну спроможності лінії через використання поїздів з великою різницею швидкостей руху.

Кожна з зазначених моделей експлуатації ВШМ має свої переваги і недоліки. Ексклюзивна модель експлуатації та змішана високошвидкісна модель дозволяють більш інтенсивно використовувати HSR інфраструктуру, водночас як інші моделі мають враховувати, що (за винятком багатоколійних ділянок ліній) повільні поїзди займають більше часу для проходження дільниці, що зменшує можливості для надання HSR послуг.

При виборі конкретної моделі експлуатації потрібне порівняння вартості будівництва й утримання нової інфраструктури з витратами на модернізацію і підтримання існуючої мережі. Однак треба враховувати і перспективи подальшої експлуатації ВШМ, економічний ефект якої в різних моделях експлуатації може суттєво відрізнятись. Обрана модель буде визначати можливий рівень послуг, який можна буде надати при використанні високошвидкісних поїздів, і обмеження руху, з яким вони стикатимуться, і врешті-решт вплине на загальну вартість впровадження ВШМ, будівельні й експлуатаційні витрати і прибутки, отримані від організації високошвидкісних перевезень.

2.2 Розподіл ліній ВШМ на швидкісні групи

Міжнародний союз залізниць визначає загальні принципи поділу ліній на швидкісні групи:

- група 1 – 200–250 км/год – швидкісні, звичайні магістральні лінії, що пройшли реконструкцію;
- група 2 – 250–300 км/год – високошвидкісні, спеціально побудовані високошвидкісні лінії;

- група 3 – понад 300 км/год – надзвичайно високошвидкісні, спеціально побудовані, дуже високошвидкісні лінії.

Але в деяких країнах законодавчо встановлюються інші швидкісні групи руху звичайних і високошвидкісних поїздів на відповідних лініях.

Прийняті швидкісні групи у Франції, Іспанії:

- група 1 – 200 – 250 км/год – рух високошвидкісних поїздів на звичайних лініях;

- група 2 – понад 250 км/год – рух високошвидкісних поїздів на спеціально побудованих ВШМ.

Існують окремі швидкісні групи і в Німеччині:

- група 1 – від 200 до 230 км/год – модернізовані дільниці;

- група 2 – до 280 км/год – нові дільниці;

- група 3 – до 300 км/год – нові дільниці.

Швидкісні групи встановлюють максимальне значення швидкості на лінії. Зміна швидкостей у межах зон розгону та уповільнення визначається технічними характеристиками рухомого складу або, як термінологічно прийнято в ЄС, типом поїзда.

2.3 Фактори, що обумовлюють розподіл ліній ВШМ на швидкісні групи

До факторів, що обумовлюють розподіл ліній ВШМ на швидкісні групи, належать:

- аеродинаміка рухомого складу;
- тягові і гальмові потужності рухомого складу;
- динамічна стійкість рухомого складу;
- механічний опір колії;
- пристрої сигналізації, централізації і блокування;
- надійність струмознімання;
- організація безпечного руху поїздів.

Фактори аеродинаміки, тягових і гальмових потужностей, динамічної стійкості рухомого складу обумовлюються конструкційними особливостями високошвидкісних поїздів. На сьогодні в експлуатаційних параметрах високошвидкісного рухомого складу використовуються такі принципові рішення:

1 У системі забезпечення тяги:

- концентрована тяга (локомотивний варіант – сімейство поїздів TGV, експлуатаційна швидкість 320 км/год);

- розподілена тяга (моторвагонний варіант – японські високошвидкісні поїзди Сінкансен, ICE3 (Німеччина), Velaro Rus (Сапсан, Росія), конструкційна швидкість 250 км/год).

2 У системі забезпечення динамічної стійкості:

- окремі вагони (індивідуальні візки – Velaro CRN для Китаю, конструкційна швидкість 380 км/год);

- зчленовані вагони (проміжні візки – сімейство поїздів TGV, експлуатаційна швидкість 320 км/год).

3 У системі забезпечення аеродинаміки:

- одноповерхові вагони (більшість високошвидкісних поїздів країн Європи та Азії);

- двоповерхові вагони (сімейство поїздів Euro Duplex).

Фактори механічного опору колії визначаються, з одного боку, конструкцією колії, а з іншого – планом і профілем ділянки руху високошвидкісних поїздів (рисунок 2.2).

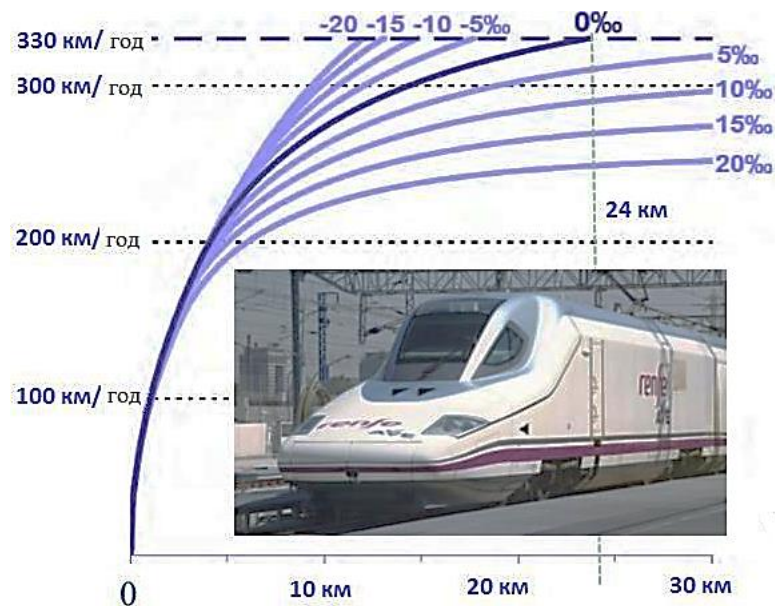


Рисунок 2.2 – Залежність швидкісного режиму високошвидкісних поїздів від профільного ухилу ділянки на лініях ВШМ

Значення фактора механічного опору колії визначається також параметрами кривизни колії. Високошвидкісний рух вимагає при невеликих значеннях радіуса кривої колії більшого **підйому віражу** – величини підвищення зовнішньої рейки в

кривій відносно внутрішньої, порівняно зі звичайними залізничними магістралями і навпаки, при неможливості збільшення підйому віражу – підвищення величини радіуса кривої дільниці.

Швидкість руху високошвидкісного поїзда безпосередньо залежить від напруги в контактній мережі. Наприклад зниження напруги з 3 до 2,7 кВ призводить до втрати потужності електропоїзду на 15 % і зменшення середньої швидкості на перегоні на 7–9 %. Тому фактор надійності струмознімання, що визначається якістю механічної взаємодії струмоприймача і контактної підвіски і ступенем сталості контактного натискання, безпосередньо впливає на продуктивність експлуатації ВШМ і безпеку руху. Сталий контакт між контактним дротом і струмоприймачем під час руху високошвидкісного поїзда за будь яких кліматичних і погодних умов повинен постійно повністю зберігатися. Також фактор надійності струмознімання визначається конструкцією контактної підвіски і струмоприймача.

Фактори сигналізації, централізації і блокування тісно пов'язані з фактором організації безпечного руху поїздів. Вони впливають на міжпоїзну відстань та інтервали руху високошвидкісних поїздів. Крім того, на лініях зі змішаним рухом фактор сигналізації, централізації і блокування визначається вимогою дотримання спеціалізованих швидкісних режимів при необхідності відхилення на бокову колію (наприклад при проходженні по станціях) з використанням пологих марок хрестовин стрілочних переводів.

На рисунку 2.3 показано зміну величини гальмівного шляху і міжпоїзного інтервалу залежно від швидкості руху поїздів. Зі зростанням швидкості гальмівний шлях істотно збільшується і (при незмінному міжпоїзному інтервалі) збільшується міжпоїзна відстань.

Швидкість, км/год	Гальмівний шлях, км
200	1,94
250	3,12
300	4,69
330	5,84
Швидкість / інтервали руху	Міжпоїзна відстань, км
240 км/год – 5 хв	20
300 км/год – 5 хв	25
330 км/год – 5 хв	27,5

Рисунок 2.3 – Вплив швидкості руху поїздів на величину гальмівного шляху і міжпоїзний інтервал

ЛЕКЦІЯ 3. Організація руху на ВШМ з урахуванням вимог до інфраструктури та рухомого складу

План

3.1 Варіанти організації руху поїздів на лініях ВШМ

3.2 Фактори, що ускладнюють організацію високошвидкісного руху в зимовий час

3.1 Варіанти організації руху поїздів на лініях ВШМ

За європейським підходом, варіанти організації руху (різношвидкісного, змішаного) визначаються різними значеннями параметрів пропускної спроможності:

- кількість поїздів (залежить від попиту на перевезення і задається його рівнем);

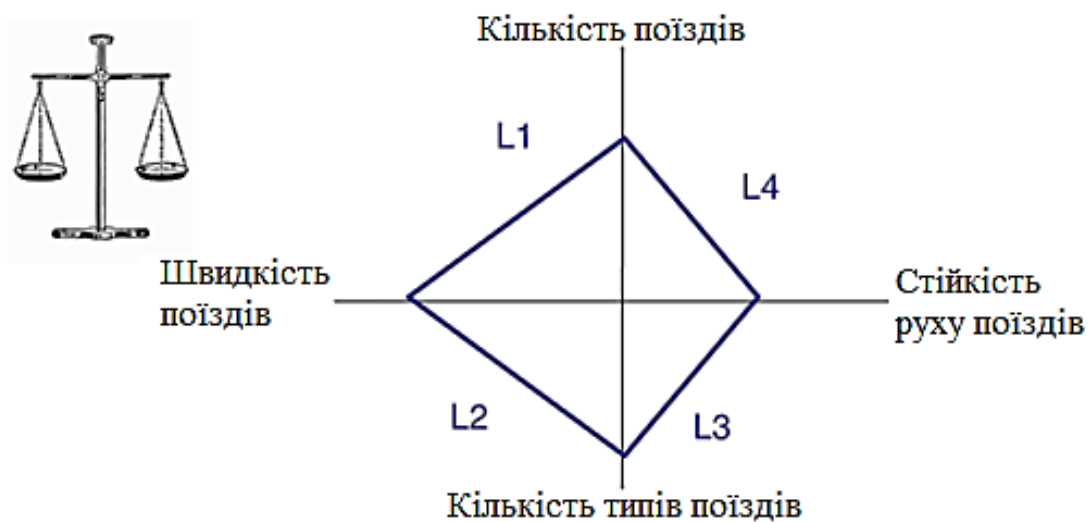
- стійкість руху поїздів (оцінюється як вплив 1 хв затримки одного поїзда на затримки інших поїздів у розкладі, що в загальному випадку характеризується максимально можливою затримкою поїзда, яка не тягне за собою запізнення наступного за

ним поїзда на лінії, і є величиною відносною, яка позначає максимально допустиму межу запізнення);

- кількість типів поїздів (визначається ринком операторів або перевізників, наявним у них рухомим складом);

- швидкість руху поїздів (визначається конструктивними особливостями рухомого складу).

Теоретично подаючи пропускну спроможність високошвидкісної ділянки у вигляді чотиригранної фігури, кути якої утворені значеннями параметрів пропускну спроможності на відповідних осях, і позначаючи довжини граней фігури L1, L2, L3, L4 [6, 7], можна говорити про взаємозв'язок параметрів пропускну спроможності в рамках моделі (рисунок 3.1).



$$L1 + L2 + L3 + L4 = \text{Constant}$$

Рисунок 3.1 – Параметри пропускну спроможності при організації змішаного руху

Вираз $L1 + L2 + L3 + L4 = \text{Constant}$ визначає баланс параметрів пропускну спроможності при організації різних видів руху, у тому числі високошвидкісного.

У різних видах перевезень або різних системах руху поїздів вид співвідношення параметрів пропускну спроможності може помітно відрізнятися через наявність різноманітних факторів впливу на перевізний процес, закладених у саму сутність параметрів. Такі можливі варіанти наведені на прикладі рисунка 3.2.

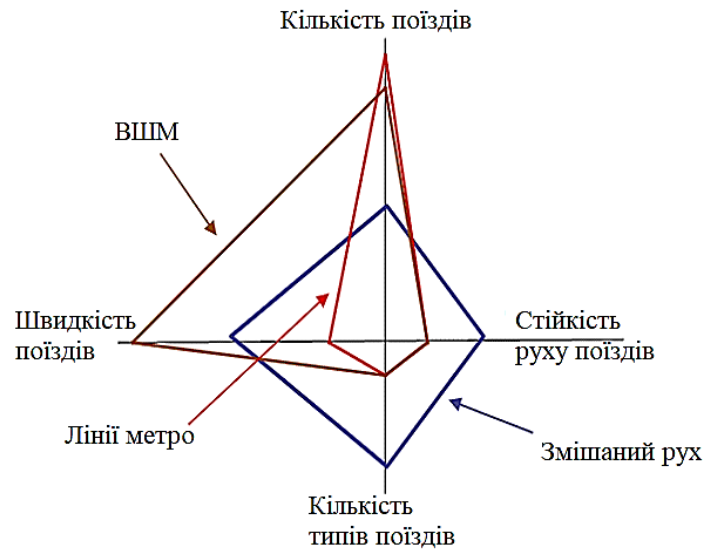


Рисунок 3.2 – Співвідношення параметрів пропускної спроможності в різних системах руху поїздів

Аналіз наведених зображень вказує, що при експлуатації поїздів різного типу на лінії (нехай навіть з близькими ходовими швидкостями) допустима величина стійкості руху різко падає. Той самий ефект досягається при експлуатації великої кількості поїздів одного типу.

Наприклад на лінії LN1 (Франція) при пропусканні за годину 13 поїздів одного типу (TGV) з максимальною швидкістю 300 км/год допустима стійкість руху складає близько 2 хв. На лінії Мангейм – Штутгарт (Німеччина) при пропусканні двох поїздів типу ICE 1/ICE 2 за годину з максимальною швидкістю 280 км/год, двох поїздів типу ICE 3 за годину з максимальною швидкістю 280 км/год, одного поїзда типу TGVPOS за годину з максимальною швидкістю 280 км/год та одного поїзда типу ICE T за годину з максимальною швидкістю 230 км/год (всього шість поїздів: п'ять з однією максимальною швидкістю, але різними ходовими характеристиками та один з меншою максимальною швидкістю) допустима стійкість руху становить також близько 2 хв. На лінії Мілан – Рим (Італія) при пропусканні чотирьох поїздів типу «Фреччіоросса» ETR 500 за годину з максимальною швидкістю 300 км/год допустима стійкість складає близько 12 хв. На лінії Мадрид – Барселона (Іспанія) при пропусканні чотирьох поїздів типу AVE за годину з максимальною швидкістю 300 км/год, одного поїзда типу ALVIA за годину з максимальною швидкістю 250 км/год і одного поїзда типу AVANT за годину з

максимальною швидкістю 250 км/год (всього шість поїздів: чотири з однією швидкістю і однаковими ходовими характеристиками і два з іншою, меншою максимальною швидкістю, але однаковими ходовими характеристиками) допустима стійкість становить близько 8 хв. Зазначений аналіз вказує на те, що несинхронність у параметрі стійкості руху поїздів є вирішальною при організації різних варіантів високошвидкісного руху на ВШМ.

Сучасна європейська теорія організації високошвидкісного руху на лініях ВШМ передбачає змішаний рух поїздів з різними максимальними швидкостями і розглядає п'ять можливих варіантів пропускання поїздів [6, 7].

1 Змішаний рух за типом 0 – варіант організації руху, коли максимальна пропускна спроможність ділянок досягається за рахунок того, що всі поїзди на конкретній ділянці рухаються з однією і тією самою швидкістю, тобто нитки графіка руху поїздів (ГРП) паралельні. Число 0 означає відсутність ниток поїздів, що прямують зі швидкістю V_2 ($V_2 > V_1$) у дану одиницю часу (рисунок 3.3).

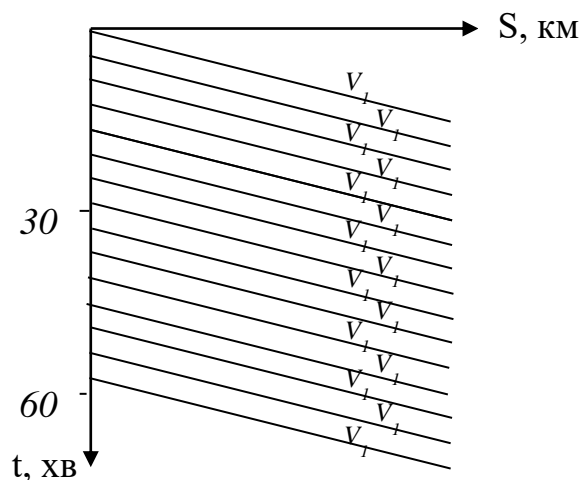


Рисунок 3.3 – Графік змішаного руху за типом 0 (приклад – лінія LN1, Франція; Мілан – Рим, Італія)

Вітчизняним аналогом змішаного руху за типом 0 є організація руху поїздів за паралельним графіком [8, 9].

2 Змішаний рух за типом 1 – передбачає пропускання одного поїзда зі швидкістю V_2 по ділянці, причому $V_2 > V_1$. Цифра

1 означає наявність у розглянуту одиницю часу на ділянці лише одного поїзда, що прямує з більшою швидкістю V_2 (рисунок 3.4).

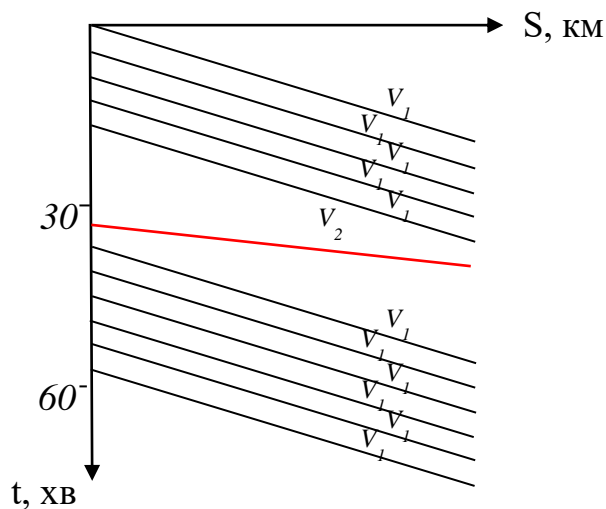


Рисунок 3.4 – Графік змішаного руху за типом 1 (приклад – лінія Мангейм – Штутгарт, Німеччина)

Вітчизняним аналогом змішаного руху за типом 1 є організація руху поїздів за непаралельним графіком [8, 9].

3 Змішаний рух за типом 2, пакетний тип – передбачає пропускання двох поїздів зі швидкістю V_2 по ділянці, причому $V_2 > V_1$, які прямують один за одним з мінімально допустимим за умовами експлуатації інтервалом часу (рисунок 3.5).

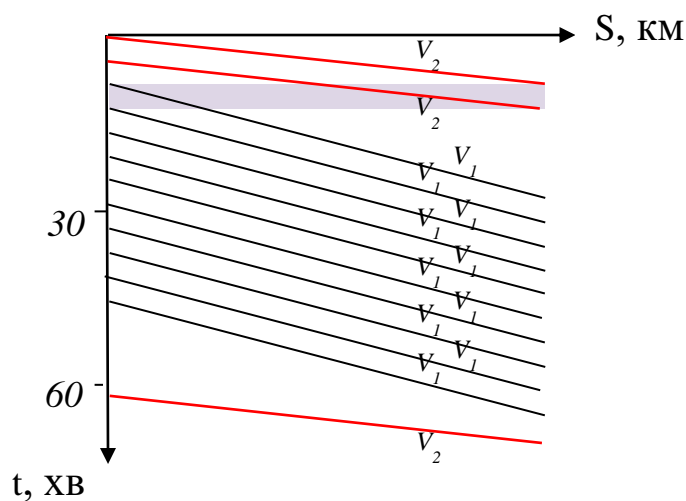


Рисунок 3.5 – Графік змішаного руху за типом 2, пакетний (приклад – лінія Мадрид – Барселона, Іспанія)

На вітчизняних залізницях аналогами є пачковий і пакетний графіки [8, 9].

4 Змішаний рух за типом 2, врозкид – передбачає пропускання двох поїздів зі швидкістю V_2 по ділянці, причому $V_2 > V_1$, з таким максимальним міжпоїзним інтервалом t , при якому неможливо прокласти між ними ще одну нитку поїзда, що прямує зі швидкістю V_1 (рисунок 3.6).

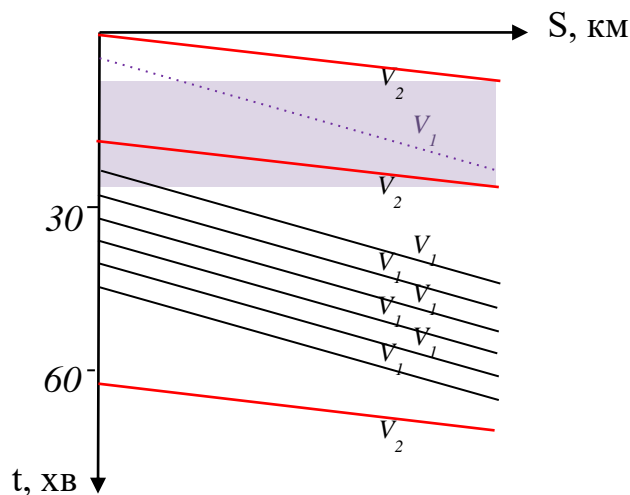


Рисунок 3.6 – Графік змішаного руху за типом 2, врозкид

Вітчизняним аналогом змішаного руху за типом 2 (врозкид) є організація руху поїздів за непаралельним графіком [8, 9].

5 Змішаний рух за типом 2, середній тип – організовується, якщо два поїзди прямують зі швидкістю V_2 один за одним з інтервалом, що дозволяє пропускання в цей період кількох поїздів зі швидкістю V_1 , причому $V_2 > V_1$ (рисунок 3.7).

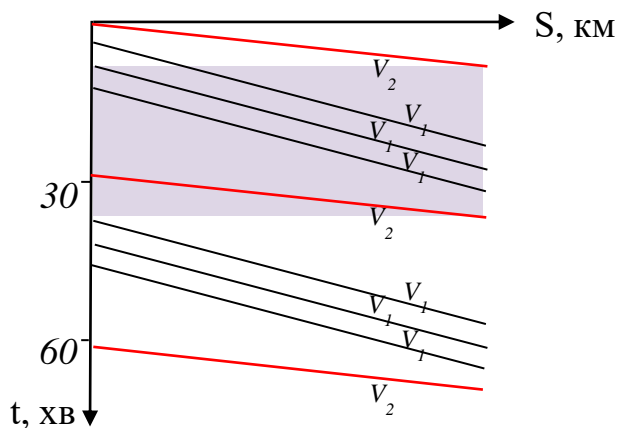


Рисунок 3.7 – Графік змішаного руху за типом 2, середній

Вітчизняним аналогом змішаного руху за типом 2 (середній тип) є також організація руху поїздів за непаралельним графіком [8, 9].

3.2 Фактори, що ускладнюють організацію високошвидкісного руху в зимовий час

Слід зазначити, що в Україні організація високошвидкісного руху в зимовий час істотно ускладнюється, що обумовлено низкою факторів.

До загальновизнаних факторів, що ускладнюють експлуатацію ВШМ у зимовий час, належать:

1 Низька температура зовнішнього повітря під час заморозків. Можливими наслідками є:

- потреба у збільшенні зусилля для приведення поїзда в рух (застигає мастило в буксах візків рухомого складу, і опір руху зростає);

- централізовані стрілки неможливо безперешкодно перевести з пульта управління (після відлиги волога на подушках під гостряками стрілок замерзає, що перешкоджає переведенню гостряків у потрібне положення).

2 Снігопади і завірюхи. Можливими наслідками є:

- ускладнення забезпечення швидкісного режиму руху (скупчення снігу на головках рейок призводить до збільшення опору руху рухомого складу);

- втрата контролю положення стрілок (попадання снігу між гостряками та рамною рейкою призводить до напресування снігу).

3 Ожеледь. Призводить до сповільнення руху (знижується ефективність систем гальмування).

ЛЕКЦІЯ 4. Сучасна система централізованого управління та контролю руху поїздів на лініях ВШМ

План

4.1 Технічне регулювання високошвидкісного залізничного транспорту в ЄС.

4.2 Європейська система управління залізничним транспортом ERTMS.

4.3 Особливості влаштування глобальної системи мобільного залізничного радіозв'язку GSM-R.

Необхідність досягнення значних економічних результатів від експлуатації ВШМ і складність реалізації сучасних моделей експлуатації ВШМ при організації високошвидкісного руху обумовлюють підвищені вимоги до систем контролю та управління високошвидкісним рухом. На сьогодні набула поширення концепція централізованого контролю та управління високошвидкісним рухом поїздів на базі диспетчерських центрів управління. Відповідно до цієї концепції для забезпечення контролю і управління рухом на ВШМ розроблено автоматизовані системи, які:

- об'єднують дані про поїзну обстановку, стан систем сигналізації та енергопостачання, інформацію про виконання розмірів руху;

- виконують функції управління рухом на основі закладених алгоритмів, запобігають виникненню можливих затримок поїздів.

За європейським підходом мета і завдання системи централізованого управління та контролю руху на ВШМ полягають у такому:

- дотримуватись розкладу руху (залізниці завжди працюють за офіційно опублікованим розкладом. Дотримуватись розкладу - обов'язок будь-якого залізничного перевізника або оператора);

- дозволяти регулювати розміри руху (ключове завдання сучасних інфраструктур – забезпечувати рух необхідного потоку поїздів);

- сприяти підвищенню швидкості руху (скорочення часу прямування – одна з основних вимог користувачів до високошвидкісного громадського транспорту);

- покращувати рівень безпеки та надійності (безпека завжди залишається основною вимогою до перевезення);

- забезпечувати якість перевезення і комфорт (основними перевагами залізничного транспорту є зручність і пунктуальність, що часто є вигідними відмінностями залізниць від інших видів транспорту).

4.1 Технічне регулювання високошвидкісного залізничного транспорту в ЄС

Технічне регулювання експлуатації високошвидкісного залізничного транспорту в ЄС базується на Директивах 96/48/ЕС [10] та 2002/735/ЕС [11]. Ці директиви, присвячені питанням експлуатаційної сумісності систем залізничного транспорту різних виробників у різних частинах Європи, складають основу концепції централізованого контролю і управління рухом поїздів на ВШМ. Спочатку в 1996 році було розроблено Директиву 96/48/ЕС, що спрямовувалась на досягнення експлуатаційної сумісності транс'європейських ВШМ. У рамках сучасної Директиви 2002/735/ЕС Європейська асоціація з експлуатаційної сумісності залізничного транспорту (ЄАЕСЗТ) об'єднує представників залізничних компаній і промисловості створенням уніфікованих технічних специфікацій – технічних рішень, що забезпечують основні вимоги експлуатаційної сумісності ВШМ в межах ЄС.

Директиви, зокрема, передбачають, що кожна система має бути об'єктом конкретних технічних специфікацій; кожна система має відповідати цим технічним специфікаціям; проект технічних специфікацій розробляється «Об'єднаним органом представників залізничних компаній»; внесення змін до технічних специфікацій є прерогативою цього органу; країна може не застосовувати технічні специфікації в разі, якщо проект нової лінії або модернізації існуючої лінії знаходиться вже на стадії детального опрацювання. Система технічних специфікацій стала основою сучасної європейської системи контролю та управління рухом поїздів на ВШМ.

Технічне регулювання залізничної галузі і науки в Україні ґрунтується на «Технічному регламенті безпеки рухомого складу залізничного транспорту» [12]. Однак існує проблема суміщення (уніфікації) вітчизняних і європейських технічних норм (у термінології ЄС – Єврокодів). У зв'язку з цим першочерговим є завдання зі створення уніфікованих норм будівництва високошвидкісної залізничної інфраструктури, до якої традиційно відносять і засоби управління рухом. Вони включають:

- створення єдиних сучасних нормативів до проектування об'єктів з Єврокодами з урахуванням кліматичних і географічних особливостей країни;

- вивчення досвіду підготовки, планування заходів з розроблення і впровадження національних програм, оцінювання об'єктів інфраструктури залізничного транспорту, побудованих за національними вимогами і нормами Єврокодів;

- аналіз і вивчення досвіду і методів застосування Єврокодів у залізничному будівництві з урахуванням конструктивної технологічної послідовності розроблених раніше проєктів;

- вивчення підходів і методів нормування конкретних технічних вимог і норм з будівництва об'єктів залізничного транспорту (норми технічного проєктування).

Незважаючи на існуючу різницю у використанні технічної документації, концепція процесів централізованого контролю та управління рухом на ВШМ досить універсальна. Вона включає операції, призначені для вирішення таких завдань, як:

- вибір оптимального напрямку для впровадження високошвидкісного руху (оптимізація руху високошвидкісного поїзда на мережі ВШМ);

- розрахунок часу в дорозі;

- створення розкладів;

- планування та прокладання маршрутів (побудова графіків руху);

- планування обмежень між операціями (стики за часом, облік витрат і ресурсів);

- побудова діаграм руху в часі і просторі (розрахунок витрат поїздо-годин в русі);

- побудова діаграм зайнятості в дорозі (розрахунок витрат поїздо-годин на шляху прямування);

- регулювання швидкісних режимів (ручне та автоматичне);

- розрахунок запізнень;

- прогнозування поїзної обстановки;

- автоматичне виявлення конфліктних ситуацій, пов'язаних з технологічними порушеннями і відмовами технічних засобів;

- інтеграція рівнів систем контролю та управління.

4.2 Європейська система управління залізничним транспортом ERTMS

У наш час у ЄС на базі реалізації процесів централізованого контролю та управління рухом на ВШМ і уніфікації європейських технічних норм створюється єдина Європейська система управління залізничним транспортом (ERTMS) [13]. ERTMS є комбінацією двох складових: Європейської системи управління рухом поїздів (ETCS) і Глобальної системи мобільного залізничного радіозв'язку (GSM-R).

Метою створення ERTMS є заміна різних (часто несумісних між собою) систем управління і забезпечення безпеки руху поїздів, що застосовуються на залізницях ЄС, єдиною системою.

ERTMS включає всі пристрої, необхідні для контролю та управління рухом поїздів у режимі реального часу відповідно до поточних вимог і умов поїзної роботи, у тому числі компоненти, що знаходяться в поїздах, колійні та лінійні пристрої, розташовані вздовж залізничних магістралей.

Базовою складовою ERTMS є Європейська система управління рухом поїздів (ETCS). ETCS була розроблена Європейським інститутом залізничних досліджень і затверджена UNISIG (консорціумом шести найбільших компаній – виробників обладнання СЦБ) ЄС як єдина система забезпечення безпеки і сигналізації на транс'європейській високошвидкісній залізничній мережі [13]. Метою розроблення ETCS є уніфікація систем обміну інформацією між поїздами і колійними пристроями.

У традиційних системах руху поїздів на кожній дільниці або ділянці (блок-ділянці у вітчизняних системах автоблокування) може бути не більше однієї рухомої одиниці (поїзда). Робота ETCS ґрунтується на ідеї послідовного прямування поїздів в умовах безперервного контролю транспортного процесу комбінацією різних технічних засобів, що дозволяє безпечно знизити міжпоїзні інтервали, а отже, і збільшити пропускну спроможність дільниць. Дія ETCS заснована на визначенні місця розташування поїзда, розрахунку відстані між поїздами, контролі максимально дозваної швидкості на дільниці, розрахунку кривої швидкості і гальмівного шляху (залежно від швидкості руху), порівнянні даних проходження маршруту з технічними характеристиками

поїзда та графіком руху. При цьому вся необхідна інформація подається набором колійних і бортових пристроїв системи ETCS:

- Eurobalises – автономні передавальні пристрої (транспондери) з енергонезалежною пам'яттю, встановленою між рейками, призначені для обміну даними з рухомим складом. Баліз сприймає високочастотний сигнал від поїзда, що проходить над ними і може залежно від рівня реалізації ETCS передавати у відповідь координати, дані по шляху (криві, схили, системи електропостачання), постійні і часові обмеження швидкості, показання світлофорів;

- Euroloop – кабельна система передачі даних, що може бути використана на першому рівні ETCS. Передача сигналів здійснюється за допомогою випромінювального кабелю (гнучкої антени), довжина якого може досягати 1 км. Сам кабель зазвичай кріпиться до подошви рейки і передає радіосигнал бортової системи поїзда як баліза. Головною перевагою випромінювальних кабелів над балізами є безперервність зв'язку, що підвищує безпеку руху;

- лінійний електронний блок LEU – використовується на лініях ETCS рівня 1 для забезпечення зв'язку між СЦБ-пристроями та рухомим складом;

- основними елементами бортового обладнання тягового рухомого складу є комп'ютер, високочастотний випромінювач, маяк радіосигналів, що надсилаються Європейською мережею GSM-R, передавач GSM-R, одометр і реєстратор, в якому фіксуються всі дії машиніста, параметри руху і показання точок сигналу. Бортове обладнання побудовано за модульним принципом. Кожен функціональний блок виконує строго визначені завдання і має свій власний інтерфейс;

- дисплейний модуль ETCS – розділений на шість робочих полів і відображує поточну швидкість, розраховану і максимальну швидкість, наступне обмеження швидкості, світлофори, інформацію про маршрут, технічні дані, місцезнаходження, відстань до найближчого об'єкта, поточний рівень і режим ETCS, а також видачу текстових і звукових попереджень про зони небезпеки;

- радіоблокувальний центр – комбінація обладнання, яке отримує і автоматично обробляє всю інформацію про ситуацію

поїзда на ділянці, яка надходить від бортових систем рухомого складу на цифровому радіоканалі стандарту GSM-R і підлогових пристроях СЦБ;

- Euroradio – захищений радіопротокол, який дозволяє передавати дані через закритий канал, побудований на відкритій мережі GSM-R. Через Euroradio здійснюється асинхронний обмін інформацією між поїздом і радіозамінним центром;

- напольні пристрої контролю звільнення блок-дільниці;
- електрична централізація станцій.

Безперервний контроль за рухом поїздів, адаптований до постійної зміни умов їхнього просування, дозволяє оптимізувати графік руху і знизити витрати на електроенергію, при цьому суттєво збільшуючи пропускну спроможність дільниці.

Залежно від ступеня впровадження компонентів розрізняють декілька рівнів реалізації ETCS:

1 Європейська система управління рухом поїздів рівня 0 характеризується такими особливостями:

- використовуються регіональні (національні) системи СЦБ, автоматики або телемеханіки;
- передбачається технічна можливість впровадження системи ERTMS/ETCS.

2 Європейська система управління рухом поїздів рівня STM (Special Translated Modules – спеціальних передавальних модулів) характеризується такими особливостями:

- поїзди обладнано бортовими пристроями ERTMS/ETCS;
- лінії ВШМ обладнано регіональними/національними системами СЦБ, автоматики або телемеханіки (інформація для управління рухом поїздів генерується національними системами сигналізації і зв'язку, передається на поїзд по використовуваних у національній системі каналах і перетворюється бортовим модулем STM в інформацію, придатну для сприйняття обладнанням ERTMS/ETCS).

3 Європейська система управління рухом поїздів рівня 1 характеризується такими особливостями:

- поїзди обладнано бортовими пристроями ERTMS/ETCS;
- лінії ВШМ обладнано засобами бездротової передачі даних «євробалізами».

4 Європейська система управління рухом поїздів рівня 2 характеризується такими особливостями:

- поїзд обладнано бортовими пристроями ERTMS/ETCS;
- управління поїздом здійснюється за допомогою радіозв'язку з радіо- блок-центру (RBC) в рамках глобальної системи мобільного залізничного радіозв'язку (GSM-R);
- відстеження місця розташування поїзда і цілісності складу здійснюється існуючими дорожніми пристроями (рейковими колами автоблокування та ін.), які не належать безпосередньо до системи ERTMS/ETCS.

5 Європейська система управління рухом поїздів рівня 3 характеризується повним обладнанням рухомого складу та ліній ВШМ засобами ERTMS/ETCS і є закінченою системою управління, контролю і забезпечення безпеки руху поїздів без використання національних колійних сигналів з блок-дільницями довільної довжини.

4.3 Особливості влаштування глобальної системи мобільного залізничного радіозв'язку GSM-R

GSM-R (Global System for Mobile Communications-Railway) – бездротова комунікаційна платформа для залізниць, реалізована на основі GSM; призначена для зв'язку поїздів з управляючими центрами, а також забезпечення роботи додатків, управління трафіком. Вона гарантує зв'язок при швидкості руху до 500 км/год.

Через вишку зв'язку здійснюється зв'язок з радіо загального призначення, операційним, бортовим, стаціонарним радіо. Структурна схема глобальної системи мобільного радіозв'язку (звичайна мережа GSM) характеризується рівномірним покриттям зони обслуговування за допомогою сот, сформованих у кластери, у яких розташовано базові станції (BTS), що з'єднані з центрами комутації (MSC) через контролери (BSC).

Структурна схема глобальної системи мобільного залізничного радіозв'язку (архітектура мережі GSM-R) значно відрізняється від мережі GSM. Схема покриття, що використовується в мережах GSM-R, не відповідає звичайній мережі GSM: антени та базові станції BTS розташовані таким чином, щоб забезпечити радіопокриття уздовж лінії ВШМ з

подвійним перекриттям. Це пов'язано з вимогою забезпечення надійності зв'язку при русі поїздів з високими швидкостями.

Звичайним для ліній ВШМ є використання режиму групового радіовиклику. Це продиктовано наявністю двох варіантів зв'язку в стандарті GSM-R:

- варіант 1. Груповий виклик диспетчера машиністами локомотивів, що реалізується в режимі циркулярного виклику через центр комутації;

- варіант 2. Використання пріоритетності обміну мовними повідомленнями за програмою адресації виклику, інсталюваною в центрі комутацій, залежно від розташування поїзда.

При використанні адресації виклику залежно від місця розташування машиніст набирає уніфікований в ЄС укорочений номер і автоматично з'єднується з диспетчером, відповідальним за дану дільницю.

ЛЕКЦІЯ 5. Основні принципи організації диспетчерського управління перевезеннями на лініях ВШМ

План

5.1 Улаштування системи диспетчерського управління.

5.2 Рівні диспетчерського управління.

5.3 Функціональна структура системи ERTMS.

Перевізний процес на залізничному транспорті належить до складних систем з розвинутою структурою управління. Це обумовлено значною розподіленістю у просторі об'єктів управління при великій їхній кількості, наявністю рухомих об'єктів управління, що переміщуються у просторі, часто з випадковим характером вихідних параметрів руху і необхідністю швидкого прийняття рішень з високою відповідальністю за безпеку керованого процесу [2]. В системі управління процесом перевезень на ВШМ на базі диспетчерських центрів диспетчер, який очолює управління роботою високошвидкісної залізничної дільниці, забезпечує виконання завдань перевізного процесу з

обов'язковим дотриманням правил безпеки руху. Однак обмежені психофізіологічні можливості людини-диспетчера знижують пропускну спроможність усієї системи.

5.1 Улаштування системи диспетчерського управління

Система диспетчерського управління (СДУ) рухом поїздів на ВШМ належить до складних систем з ієрархічною структурою управління, основними характеристиками якої є:

- наявність замкнених підсистем з явно вираженими локальними властивостями;

- існування глобального критерію оптимальності для системи в цілому і приватних (локальних) критеріїв для окремих підсистем;

- ієрархічність структури управління зі встановленими рівнями підпорядкованості (право втручання в дію будь-якої підсистеми має тільки підсистема вищого рівня);

- тісний інформаційний зв'язок між підсистемами, а також між усією системою і взаємодіючими з нею іншими системами цього або вищого ієрархічного рівня (вищі рівні управління мають справу з більшими підсистемами і ширшими аспектами поведінки всієї системи в цілому, тобто чим вище рівень, тим більше спільність відображення об'єкта управління і довше приймається рішення);

- наявність людини-оператора в складі практично кожної підсистеми, часто замкнутість підсистем здійснюється через людину, яка приймає рішення.

Головною причиною появи ієрархії в системі диспетчерського управління є невідповідність між складністю об'єкта управління і здатністю керуючого органу охопити і переробити інформацію про об'єкт з необхідною точністю у заданий час. Дійсно, будь-який складний виробничий процес вимагає своєчасного формування узгоджених з іншими процесами правильних рішень, що ведуть до загальної мети.

СДУ покликана забезпечити безперебійний і безпечний рух поїздів із заданою пропускну спроможністю дільниці диспетчерського управління. Це вимагає збалансованого планування всіх пересувань і знаходження кожного поїзда в процесі виконання графіка руху поїздів (ГРП) під постійним

контролем і управлінням СДУ. Для успішного вирішення поставлених завдань необхідні раціональна організація СДУ і забезпечення її технічними засобами збору, передачі та обробки інформації, виконання покладених на неї функцій [3].

Найважливішим (першим) завданням побудови оптимальної структури управління є вибір функціональної організації системи з подальшим поділом її на дрібніші елементи з їхнім раціональним угрупованням залежно від використовуваних методів і засобів для вирішення конкретного завдання. Другим завданням, що вимагає вирішення після вибору функціональної структури, є вибір набору функцій та алгоритмів їхньої реалізації в кожній з підсистем, оптимальних у питанні мінімуму витрат (коштів, часу) на досягнення цілей системи [14].

Оперативне диспетчерське управління призначене для реалізації запланованого в ГРП перевізного процесу з метою забезпечення його безпеки, економічності і точності у виконанні ГРП. Безпека досягається виконанням встановлених норм, іноді навіть на шкоду іншим вимогам.

В умовах підвищення швидкостей руху поїздів системи диспетчерського управління рухом поїздів створюються на основі принципів централізації функцій диспетчеризації і контролю рухом поїздів з можливістю розподілу функцій управління у вигляді ієрархічної структури, як наведено на прикладі рисунку 5.1.

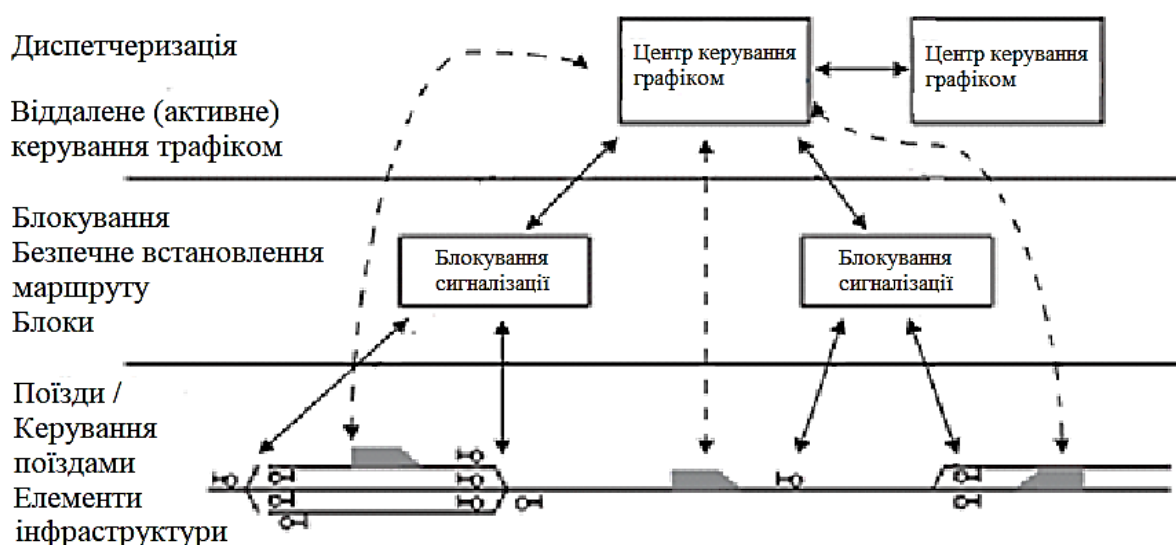


Рисунок 5.1 – Схема СДУ на основі принципів централізації функцій диспетчеризації і контролю за рухом поїздів

5.2 Рівні диспетчерського управління

У всьому світі системи диспетчерського управління рухом поїздів на залізничних мережах мають ієрархічні структури управління відповідно до функціонального призначення і географічного розподілу мереж [5].

Диспетчери на **оперативному рівні** в центрах управління рухом контролюють залізничну мережу і регулюють ситуації, що виникають після затримок, збоїв, перерв у роботі або аналогічних незапланованих подій. Рішення диспетчерів направляються у віддалені центри управління рухом зазвичай по телефону.

На **фізичному інформаційному рівні** виконується збір інформації про рух поїздів (система ідентифікації знаходження поїзда). Ця інформація обробляється системами блокування і сигналізації з метою надання інформації в оперативний інформаційний рівень про позицію і швидкості поїздів, статус блок-ділянки між сигналами, а також статус стрілок і сигналів.

Оперативний інформаційний рівень зберігає прогноз руху поїздів. Цей прогноз має бути оновлений на основі динамічних змін, що відбуваються на фізичному інформаційному рівні і статичних даних, таких як інформація про прибуття і відправлення поїздів, даних мережевої інфраструктури або характеристик динаміки руху поїзда.

Нарешті, на **контрольному рівні** диспетчер спостерігає на своєму автоматизованому робочому місці передбачуваний прогноз руху поїздів і приймає управлінські рішення, засновані на його досвіді. Ці рішення мають бути потім переведені в керуючі впливи, такі як переведення стрілок, відкриття сигналів і приготування маршрутів для руху поїздів. Якщо диспетчерське розпорядження впливає на графік руху поїздів, то оперативний розклад (на інформаційному рівні) має бути оновлено відповідним чином [15].

Однією з важливих характеристик будь-якої складної системи управління є оптимальне поєднання принципів «централізації» і «децентралізації» [14], які мають реалізуватися в СДУ на ВШМ.

На залізницях України історично склалося кілька варіантів побудови систем диспетчерського управління. Перший варіант передбачає трирівневу будову СДУ:

- у цілому по мережі залізниць – Департаментом управління рухом АТ «Укрзалізниця»;
- межах залізниці – службою перевезень (Д);
- на окремих ділянках – дирекціями залізничних перевезень (ДН).

У другому варіанті управління здійснюється за дворівневою структурою:

- у цілому по мережі залізниць – Департаментом управління рухом АТ «Укрзалізниця»;
- межах залізниці – службою перевезень (Д) з переведенням на неї управління на окремих ділянках (як приклад в Україні – ЕДЦУ на Донецькій і Південній залізницях).

З точки зору виконуваних функцій, інформаційного забезпечення і ступеня централізації управління обидва варіанти рівнозначні. Сучасні засоби передачі інформації, цифрові оптоволоконні лінії зв'язку дозволяють забезпечити оперативний і диспетчерський персонал необхідною інформацією на будь-якому рівні.

У другому варіанті практично здійснено механічне переміщення коштів управління з третього рівня (відділення) на другий рівень (залізниця) без змін функцій системи диспетчерського управління. Приводом для такого рішення стала необхідність концентрації управління всім процесом перевезень в одному місці – в Єдиному дорожньому центрі управління (ЄДЦУ). Однак управління рухом поїздів має здійснювати одна людина – поїзний диспетчер незалежно від того, де він знаходиться: в ЕДЦУ залізниці або центрі управління відділення.

Таким чином, розглянуті варіанти побудови структури системи диспетчерського управління рівнозначні за функціями й ефективністю управління технологічними процесами, але значно різняться обсягом технічних засобів і способами подання, передачі й обробки інформації, пов'язаної із забезпеченням безперебійності і безпеки перевізного процесу. Проте **в умовах управління рухом на високошвидкісних залізничних лініях найбільш ефективним є перший варіант.**

У Німеччині успішно вирішили проблему трирівневого оперативного управління рухом поїздів, виключивши міністерство шляхів сполучення з оперативного управління:

- третій (верхній) рівень – рівень диспетчерського регулювання: тут концентрується інформація, необхідна для планування експлуатаційного процесу та контролю за поточною поїзною ситуацією;

- другий (середній) – рівень оперативного управління (диспетчерські пости), тобто це взаємопов'язані АРМ ДНЦ з підключеними до них для управління і контролю лінійними пунктами;

- перший (нижній) рівень – лінійні пункти, до складу яких входять системи мікропроцесорної централізації МПЦ і локальні системи управління приготування маршрутів та індикації номерів поїздів [15].

Концепція регіональних диспетчерських центрів на німецькій Deutschen Bahn Netz AG передбачає з'єднання інформаційно-керуючих систем і систем СЦБ, а також концентрацію в одному місці – регіональному диспетчерському центрі – основних завдань керівництва експлуатаційним процесом, таких як планування, диспетчерське регулювання та оперативне управління. Для оптимізації експлуатаційного процесу передбачено доступ до рівня місцевого управління на постах централізації.

На залізницях Франції реалізована дворівнева система диспетчерського управління, яка має національний і регіональний рівень. На національному рівні функціонує Національний центр залізничних операцій (франц. Le Centre National des Opérations Ferroviaires – CNOF), тоді як на регіональному запропоновано створити 16 центрів управління мережею (франц. la commande centralisée du réseau – CCR), які несуть відповідальність за оперативне управління на регіональному рівні.

5.3 Функціональна структура системи ERTMS

З огляду на те, що в багатьох країнах ЄС функціонують різні системи диспетчерського управління, з метою розвитку високошвидкісних міжнародних сполучень було реалізовано

єдину уніфіковану систему, яка отримала назву ERTMS (European Rail Traffic Management System – Європейська система управління рухом поїздів), типову функціональну структуру якої відображено на рисунку 5.2.

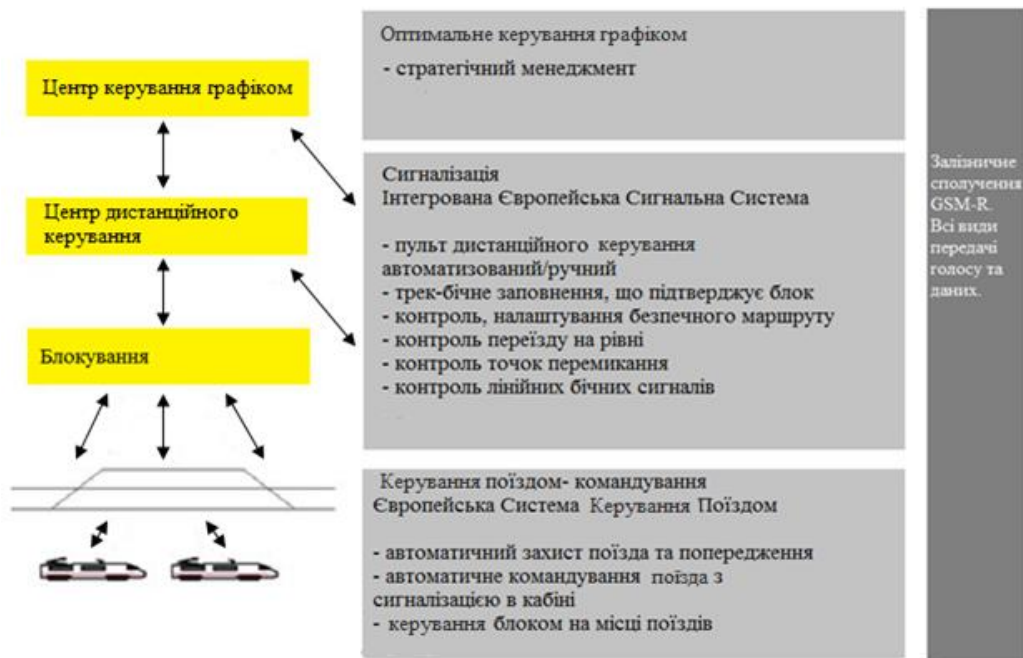


Рисунок 5.2 – Функціональна структура Європейської системи управління рухом поїздів ERTMS

Через високу швидкість руху поїздів на ВШМ необхідний високий рівень централізації управління і контролю. Тому для управління ВШМ створюються диспетчерські центри з обладнанням на лінії диспетчерської централізації. Наприклад, в Японії для управління рухом поїздів існує Єдиний диспетчерський центр управління JR Group (Japan Railways). Із застосуванням спеціального системного обладнання, встановленого у диспетчерів і старших змін, які відповідають за певний напрямок, відстежується рух усіх поїздів у реальному часі і за необхідності система автоматично вносить коригування в ГРП (в разі затримки) або видає рекомендації про скасування поїзда (у разі збою графіка). Поїзди Shinkansen експлуатуються на чотирьох лініях, що обслуговуються одним або двома диспетчерами виходячи з протяжності лінії, а також відповідальним за цей напрямок.

Керуючись закордонним досвідом країн з провідними світовими високошвидкісними транспортними системами, управління ВШМ слід здійснювати зі спеціального автоматизованого диспетчерського центру управління (ЦУП ВШМ), у якому мають бути розміщені робочі місця (АРМ) поїзних диспетчерів (ДНЦ), диспетчерів з контролю стану інфраструктури, старшого диспетчера (ДНЦС) – керівника зміни. Необхідно передбачити реалізацію на АРМі ДНЦ функції «автопілот», що забезпечує автоматичне завдання маршрутів на станціях. Це дозволить мінімізувати міжпоїзний і станційні інтервали, вивільнити час поїзних диспетчерів для безпосередньої роботи з планування та організації пропускання поїздів. Система «автопілот» при приготуванні маршрутів має налаштовуватися: у нормальних умовах – на твердий графік руху поїздів по магістралі, а при збоях – на план-графік, що розробляється [16].

Автоматизована система управління рухом поїздів має передбачати роботу в інформаційно-керуючому режимі, забезпечуючи підготовку для диспетчерів пропозицій з оптимального усунення збоїв. Досить чітко проглядаються пріоритети, яких слід дотримуватися при відновленні нормального руху. Розроблений в автоматизованій системі план-графік пропонується диспетчеру, який після розгляду затверджує його і передає системі «автопілот» для виконання. У складних ситуаціях план-графік розробляється самим диспетчером. При ліквідації збоїв вкрай важливо забезпечити реалізацію принципу дотримання інтересів оптимізації роботи магістралі в цілому. Тому план-графік складається для окремих диспетчерських ділянок тільки в тих випадках, коли регулювання руху поїздів не зачіпає умови пропускання їх по суміжних ділянках. На лінії має працювати і система «автомашиніст». Загальноприйнято при цьому, що періодично машиністи беруть на себе управління, щоб зберегти навички управління високошвидкісними поїздами.

На рисунку 5.3 наведено приклад функціональної схеми диспетчерської системи для управління рухом поїздів на ВШМ.



Рисунок 5.3 – Функціональна схема диспетчерської системи для управління рухом поїздів на ВШМ

ЛЕКЦІЯ 6. Графік руху поїздів і надійність розкладу руху високошвидкісних поїздів на лініях ВШМ

План

- 6.1 Графік руху поїздів на ВШМ та його значення.
- 6.2 Класифікація графіків руху поїздів на ВШМ.
- 6.3 Визначення резерву часу (буфера) для оптимізації пропускання високошвидкісних поїздів.

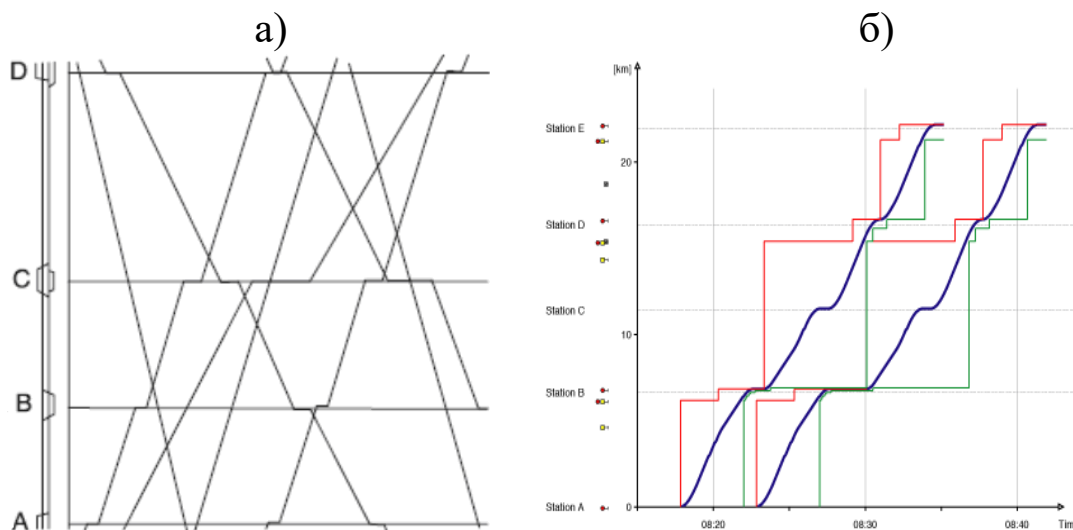
6.1 Графік руху поїздів на ВШМ та його значення

Графік руху поїздів (ГРП) – організуюча і технологічна основа роботи всіх підрозділів залізниць, план всієї експлуатаційної роботи. Рух поїздів відповідно до графіка забезпечується правильною організацією роботи і точним виконанням технологічного процесу роботи станцій, депо, тягових підстанцій, пунктів технічного обслуговування та інших підрозділів, пов'язаних з рухом поїздів [9].

Графік є основою організації руху поїздів на залізничному транспорті. Він визначає послідовність заняття поїздами перегонів, час відправлення і прибуття поїздів по кожному

роздільному пункту, швидкості руху поїздів по перегонах, норми часу стоянки поїздів на станціях, серії локомотивів, які обслуговують поїзди, вагові норми і довжини поїздів.

Графік руху поїздів є графічним зображенням процесу руху поїзда по ділянці в декартовій системі координат, де поїзд прийнято за матеріальну точку. Рух поїздів на графіку може зображуватися як прямими лініями, які нахилені, тобто виражається функцією вигляду $Y = kX + b$ (умовно приймається припущення, що в межах перегону швидкість поїздів рівномірна, рисунок 6.1, а), так і кривими лініями, які зображують реальну зміну швидкості на перегоні з урахуванням розгону та уповільнення і профілю колії (рисунок 6.1, б).



а – відображення середнього значення швидкості, яка вважається рівномірною; б – відображення реальної зміни швидкості при проходженні ділянки
 Рисунок 6.1 – Фрагменти ГРП з різним відображенням швидкості руху

Складають графік руху на стандартній масштабній сітці [9]. На сітці кожна година розділена вертикальними лініями на шість десятихвилинних інтервалів, при цьому півгодинні поділки вказуються штриховою лінією, а часові – жирною. Час проходження (прибуття чи відправлення) поїздом кожного роздільного пункту визначається перетином лінії ходу поїзда з віссю відповідного роздільного пункту і позначається цифрою понад цілий десяток у тупому куті, утвореному лінією ходу поїзда

і віссю роздільного пункту. На перегонах, що прилягають до станцій, які обмежують диспетчерське коло, над лінією ходу поїзда ставлять його номер. Поїзди нумерують залежно від напрямку руху і категорії перевезень. Лінії ходу непарних поїздів наносять зверху вниз, парних – знизу вгору. На основі ГРП складають розклад руху поїздів, де вказується час прибуття, відправлення і проходження поїздів по кожному роздільному пункту.

Зображення графіка руху поїздів може бути подано на паперовому носії у вигляді надрукованої на аркуші паперу сітки графіка з нанесеними на неї лініями ходу поїздів різних категорій і відповідними реквізитами в межах добового циклу (у 24-годинному вимірюванні). Зображення графіка також може бути подано в електронному вигляді і відображено на екрані комп'ютера у вигляді фрагмента, відповідного тій або іншій ділянці аркуша графіка на паперовому носії.

Формат окремого аркуша графіка встановлено однаковим і становить 841×1189 мм (за діючою класифікацією паперових носіїв інформації, позначається як формат А0). Залежно від необхідного масштабу 24-годинний графік руху поїздів може розташовуватися на одному або декількох аркушах. Вигляд аркуша графіка та його основні елементи зображено на рисунку 6.2.

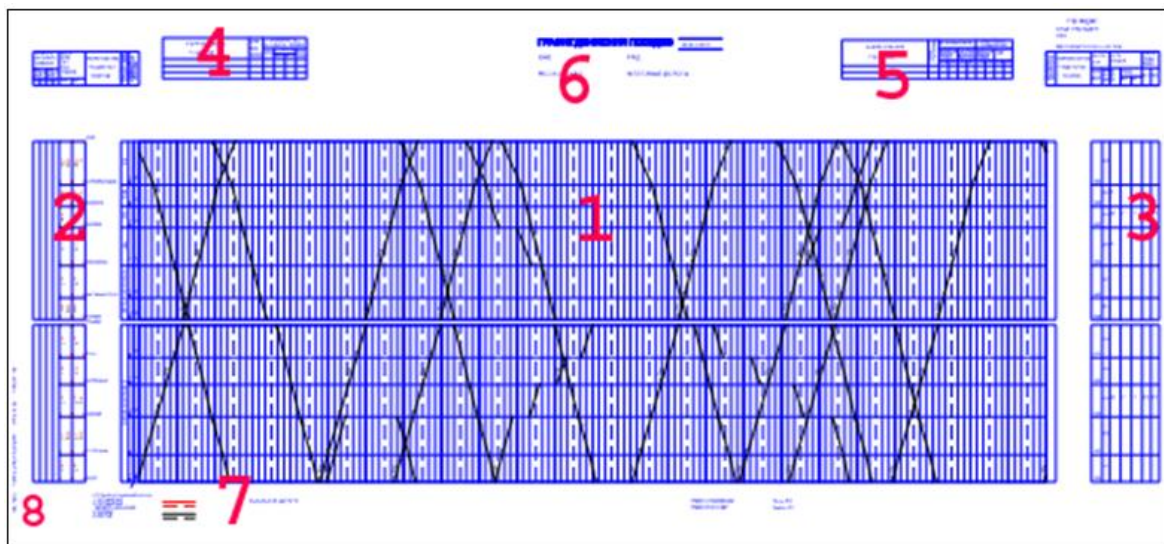


Рисунок 6.2 – Вигляд аркуша ГРП та його основні елементи

Аркуш графіка складається з таких основних елементів: 1 – власне поле графіка – містить годинну сітку графіка і лінії ходу поїздів; 2 – лівобічна таблиця графіка; 3 – правобічна таблиця графіка (до лівобічної і правобічної таблиць заносяться нормативи і показники графіка, необхідні для «читання» аркуша і роботи з ним); 4 – таблиця вагових норм у пасажирському русі; 5 – таблиця вагових норм у вантажному русі; 6 – тема графіка; 7 – умовні позначення, підписи і примітки; 8 – ідентифікаційний напис.

6.2 Класифікація графіків руху поїздів на ВШМ

Класифікація графіків руху поїздів на ВШМ базується на уніфікованих європейських стандартах організації високошвидкісних перевезень [7]. ГРП на ВШМ класифікуються таким чином:

1 Залежно від швидкості руху поїздів на ділянці ГРП поділяються:

- на паралельні (англ. Homogeneous), де всі поїзди одного і того самого напрямку рухаються з однаковою швидкістю, тому лінії їхнього ходу паралельні між собою;

- непаралельні (англ. Heterogeneous), де поїзди різних категорій мають різну швидкість, тому лінії їхнього ходу непаралельні між собою (застосовуються на залізницях загального користування в умовах змішаного руху).

2 Залежно від інтервалів часу відправлення поїздів попутного прямування на ділянці ГРП поділяються:

- на циклічні (англ. Cyclic train timetabling), коли відправлення поїздів здійснюється через рівні проміжки часу (регулярний інтервальний рух). Різновидом такого варіанта руху поїздів є система поїздів через нерівні проміжки часу, але які кратні цілій кількості годин (англ. так звана Even-time departure system), коли окремі поїзди відправляються через 1,5 або 3 години (концепція Cyclic train timetabling використовується в Нідерландах, Австрії, Бельгії, Данії, Німеччині, Великобританії, Норвегії, Швейцарії);

- нециклічні (англ. Non-cyclic train timetabling), коли відправлення поїздів здійснюється через різні проміжки часу

(застосовуються на залізницях загального користування в умовах змішаного руху).

3 Залежно від кількості головних колій на перегонах ділянки ГРП поділяються:

- на одноколійні (на одноколійних дільницях, а отже, і на графіку, лінії ходу поїздів не можуть перетинатися, оскільки обгін та схрещення поїздів відбуваються лише на роздільних пунктах, що мають колійний розвиток для цих операцій);

- двоколійні (на двоколійних ділянках лінії ходу зустрічних поїздів можуть перетинатися як на перегонах, так і станціях, оскільки наявні окремі колії для парного і непарного руху);

- багатоколійні (на багатоколійних ділянках залежно від прийнятої системи організації руху поїздів окремі колії використовуються для руху поїздів в обох напрямках, тому лінії ходу на ГРП можуть перетинатися як у зустрічному, так і попутному напрямках).

4 Залежно від кількості поїздів, що прямують в кожному напрямку за розрахунковий час на ділянці ГРП поділяються:

- на парні (кількість парних і непарних поїздів однакова);

- непарні (кількість парних і непарних поїздів різні).

5 Залежно від порядку проходження поїздів попутного напрямку на ділянці ГРП поділяються:

- на пачковий, з розділенням поїздів на ГРП між собою часом проходження міжстанційного перегону;

- пакетний, з розділенням поїздів на ГРП між собою часом проходження міжпостових перегонів або блок-ділянок;

- частково-пакетний або частково-пачковий, коли пакетами чи пачками прокладаються не всі поїзди, а тільки деяка їхня частина протягом доби.

6 Залежно від системи пропускання поїздів в умовах змішаного руху на дільниці ГРП поділяються:

- на ГРП зі змішаним рухом за типом 0,

- ГРП зі змішаним рухом за типом 1,

- ГРП зі змішаним рухом за типом 2, пакетний;

- ГРП зі змішаним рухом за типом 2, врозкид;

- ГРП зі змішаним рухом за типом 2, середній.

6.3 Визначення резерву часу (буфера) для оптимізації пропускання високошвидкісних поїздів

Щоб зменшити можливість поширення затримки між поїздами, додатково до мінімального інтервалу між поїздами додають буферний час, який підвищує час інтервалу і тим самим зменшує доступну пропускну спроможність. Головне завдання – це знайти таке значення буферного часу, щоб зберегти якомога більше пропускну спроможність за умови забезпечення заданої точності руху.

Незважаючи на ключову роль, яку відіграє буферний час в розробленні розкладів, найчастіше на практиці багато операторів використовують ряд емпіричних правил, це пов'язано зі вже отриманою в багатьох країнах високою надійністю розкладу при певній щільності руху поїздів.

Вводиться буферний час або між кожним поїздом, або глобально за умови, що його загальний час дозволить забезпечити експлуатаційну надійність графіка руху. Зазвичай буфер часу, встановлюється між будь-якою парою поїздів, що прямують один за одним по розрахунковій залізничній лінії (рисунок 6.3). Буферний час дозволяє знизити ризик передачі затримки між поїздами [7]. Такий спосіб введення у розклад буфера часу застосовується при непаралельному графіку руху.

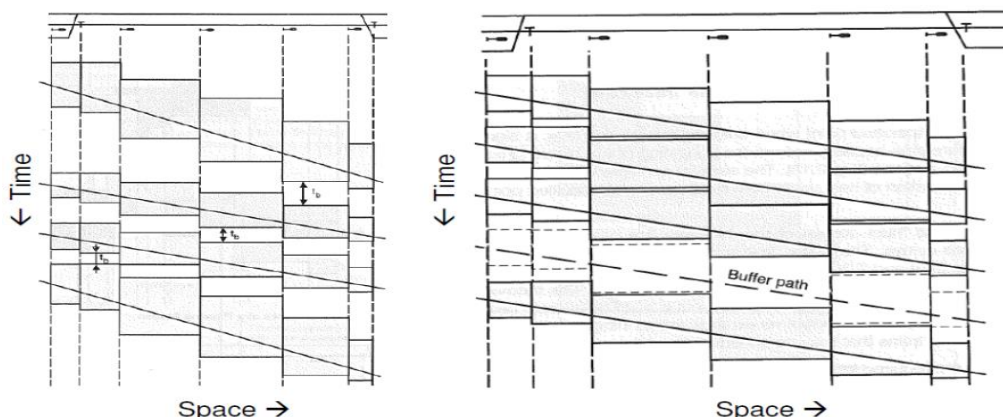


Рисунок 6.3 – Схематичне зображення буфера часу, (ліворуч) і буферної нитки (праворуч) між поїздами

На високошвидкісних лініях з однорідним поїздопоток з високим завантаженням буферний час між поїздами зводиться до

досягнення більш короткого інтервалу між поїздами, а замість цього вводиться буферна нитка. Якщо відбувається інцидент, у результаті чого виникають невеликі затримки, поїзди прямуватимуть у подальшому згідно з порядком, встановленим ГРП. Але водночас, маючи одну буферну нитку, існує можливість поглинути затримку в графіку до того, як вона пошириться в залізничній системі.

ЛЕКЦІЯ 7. Пропускна спроможність на лініях ВШМ та методи її визначення

План

7.1 Види пропускної спроможності на лініях ВШМ.

7.2 Аналіз методів розрахунку пропускної спроможності ВШМ.

7.3 Знімання поїздів в умовах змішаного руху на ВШМ.

7.1 Види пропускної спроможності на лініях ВШМ

Згідно з Інструкцією з розрахунку наявної пропускної спроможності залізниць України [8] використовується поняття наявної пропускної спроможності ділянки на перегонах, під якою розуміється максимальна кількість поїздів (пар поїздів) установленної ваги і довжини, які можуть бути пропущені через цю ділянку за одиницю часу (добу, годину) відповідно до її технічної оснащеності і прийнятого способу організації руху поїздів. Якщо колії в основному спеціалізовані для пасажирського (приміського) руху, то пропускна спроможність вимірюється в пасажирських поїздах. Крім того, розрізняють результативну пропускну спроможність ділянки, яка відповідає найменшій наявній пропускній спроможності окремої ділянки, що розраховується для таких елементів: по перегонах, станціях, пристроях електропостачання електрифікованих ліній. Також в Інструкції щодо складання графіка руху поїздів на залізницях України [9] застосовується поняття потрібна пропускна

спроможність (розрахункова) – кількість поїздів, необхідна для виконання плану перевезень вантажів і пасажирів.

Для оцінювання пропускної спроможності дільниць (споруд і пристроїв) існує поняття розрахункового рівня використання наявної пропускної спроможності, який визначається за допомогою розрахункового коефіцієнта діленням кількості поїздів відповідно ГРП на наявну пропускну спроможність відповідного пристрою. Для підрахунку даного коефіцієнта приймаються середні розміри вантажного і пасажирського руху в місяць максимальних перевезень. Крім розрахункового, визначено поняття допустимого коефіцієнта використання пропускної спроможності, що встановлюється нормативно. Порівняння таких коефіцієнтів дозволяє аналізувати ступінь завантаженості дільниці.

Для розширення понять щодо визначення пропускної спроможності необхідне проведення аналізу зарубіжного досвіду, зокрема залізниць з «європейською» моделлю ринку перевезень. Відповідно до Директиви 2001/14/ЄС [17], під «пропускнуою спроможністю інфраструктури» розуміється потенціал планування маршрутів у розкладі руху поїздів, який потрібен для того чи іншого елемента інфраструктури на певний період. Крім того, юридично прописана необхідність проведення аналізу пропускної спроможності при її розподілі, публікації Звіту про стан мережі, у якому вказуються можливості інфраструктури. У разі нестачі пропускної спроможності існує можливість визнання ділянки «перевантаженою» – мається на увазі ділянка інфраструктури, в рамках якої попит на пропускну спроможність інфраструктури не може бути повністю задоволений протягом певного періоду часу навіть після узгодження різних заявок на виділення пропускної спроможності. При таких умовах організації перевезень набули широкого поширення різні способи розрахунку пропускної спроможності. Отже, у європейській практиці організації високошвидкісних перевезень розрізняють такі визначення понять пропускної спроможності:

1 Теоретична пропускнуа спроможність (англ. Theoretical Capacity, TC) – кількість поїздів, які можливо пропустити через дільницю протягом певного періоду часу, при повністю упорядкованому графіку руху (паралельний з однаковим часом

ходу поїздів). Це верхня межа використання пропускної спроможності лінії, а її спосіб розрахунку є нескладним і базується на аналітичних обчисленнях. При розрахунку теоретичної пропускної спроможності не враховуються резерви, ігноруються наслідки змін у русі і збої, які відбуваються в реальних умовах проходження поїздів.

2 Практична пропускна спроможність (англ. Practical Capacity, PC) – практична межа «типового» обсягу поїздопотoku, який може бути пропущений через дільницю за умови прийняттого рівня надійності. Відображує реальну послідовність проходження поїздів різних категорій, їхні пріоритети і враховує резерв. Якщо теоретична пропускна спроможність є верхньою теоретичною межею, то практична являє собою пропускну спроможність, яка реально може бути реалізована. Згідно з дослідженнями [18] практична пропускна спроможність становить близько 60–75 % теоретичної. Практична пропускна спроможність є найбільш важливим визначенням потужності лінії, оскільки вона дозволяє описати можливості інфраструктури, системи організації руху для пропуску встановленої кількості поїздів у межах очікуваного рівня обслуговування.

3 Використана пропускна спроможність (англ. Used Capacity, UC) – фактичний обсяг поїздопотoku, що пропускається через лінію. Використана пропускна спроможність відображує фактичний потік поїздів та операції, що відбуваються на лінії. Вона, як правило, нижче за практичну пропускну спроможність.

4 Доступна пропускна спроможність (англ. Available Capacity, AC) – це різниця між використаною пропускною спроможністю і практичною; характеризує додаткову кількість поїздів, які можуть бути пропущені через дільницю. Якщо доступна пропускна спроможність не використовується, то вона вважається втраченою (невикористаною).

7.2 Аналіз методів розрахунку пропускної спроможності ВШМ

Всі існуючі методи для оцінювання пропускної спроможності залізниць можна розділити на три види: аналітичні, оптимізаційні, імітаційного моделювання.

Аналітичні методи засновані на розрахунку пропускної спроможності за допомогою математичних формул або виразів. Такі методи прості в розрахунку і зазвичай використовуються для оцінювання теоретичної (наявної) пропускної спроможності. В основі аналітичних методів лежить спосіб безпосереднього розрахунку пропускної спроможності, у якому в явному вигляді встановлюється потужність, що витрачається на пропускання одного поїзда або пари поїздів і виражається у часі (поїздо-годинах) заняття елемента інфраструктури. У загальному вигляді залежність між цими величинами може бути виражена формулою

$$N = \frac{M - M_n}{m} \alpha_n, \quad (7.1)$$

де M – загальна потужність пристрою;

M_n – частина потужності пристрою, що витрачається на обслуговування потреб, не пов'язаних безпосередньо з рухом поїздів (наприклад, на ремонт колії, маневрову роботу);

m – потужність пристрою, що витрачається на обслуговування одного поїзда або однієї пари поїздів;

α_n – коефіцієнт надійності, що враховує імовірність відмов у роботі технічних засобів.

Розрахунок пропускної спроможності за наведеною формулою може бути використаний тільки при одній структурі поїздопотоків, коли величина має постійне значення для всіх поїздів. Для розрахунку пропускної спроможності ділянок при різній структурі поїздопотоків використовується два принципово різних методи.

За одним з них, розробленим з урахуванням умов залізниць України, спочатку встановлюється максимальна пропускна спроможність у поїздах або парах поїздів для категорії, що є основною на даній лінії. Поїзди інших категорій через певні еквіваленти (коефіцієнти знімання) прокладаються до поїздів основної (розрахункової) категорії. Так, наприклад, пропускна спроможність ділянок розраховується в першу чергу для паралельного графіка і виражається в поїздах тільки однієї категорії, зазвичай вантажних, а при спеціалізації лінії для

пасажирського руху (швидкісного або приміського) в пасажирських поїздах прийнятої категорії. Потім оцінюється вплив на пропускну спроможність поїздів, що прямують з іншими швидкостями, тобто розраховується пропускну спроможність для непаралельності графіка.

За іншим методом пропускну спроможність визначають без виділення розрахункової категорії поїздів, на основі врахування імовірнісної природи щодо взаємного розташування на графіку поїздів різних категорій. Існують методи розрахунку, що дозволяють враховувати виникнення черг через затримку поїздів на основі теорії масового обслуговування. Дані методи є дуже чутливими до вхідних параметрів інфраструктури, параметрів і структури поїздопотоків, їхня точність сильно залежить від прийнятого способу пропускання поїздів на дільниці.

Оптимізаційні методи засновані на методах математичного програмування для розв'язання оптимізаційних задач розрахунку насиченого (максимального) розкладу. Ці методи забезпечують більш високу точність розв'язання, ніж проведення розрахунків за аналітичними методами. Ці методи отримали широке застосування на залізницях країн ЄС, оскільки дозволяють на основі безпосереднього розрахунку визначати навіть практичну пропускну спроможність.

У теперішній час в основі розроблення графіка руху поїздів використовують методи теорії розкладів (англ. Scheduling Problem). У рамках проєкту EUROPE-TRIS розроблено алгоритми розрахунку пропускну спроможності на основі пошуку максимального графіка при мінімальних витратах на проходження всіх поїздів через ділянку – програма FLOU (англ. Flow Line Optimal Utilization). Іншою розробкою є програма, що дає можливість визначення пропускну спроможності для оптимізації розкладів руху в умовах заданих заявок операторів на проходження поїздів – програма TCM (англ. Traffic Capacity Management) [19].

Імітаційні методи засновані на методах програмного моделювання, що дозволяють провести імітацію реального процесу пропускання поїздів з плином часу. Вони дають можливість окреслити випадковий характер процесу перевезень у динаміці. Відомі імітаційні моделі на основі методу Монте-Карло,

теорії систем масового обслуговування. Застосування імітаційних методів часто поєднується з методами оптимізації для перевірки знайденого графіка руху на можливість реалізації в умовах впливу випадкових факторів. Крім академічних моделей, існують комерційні програмні продукти, в основі яких використано імітаційні методи (OpenTrack – OpenTrack Railway Technology, SIMONE – Incontrol Enterprise Dynamics, MultiRail – Multimodal Applied Systems) [20]. Недоліком такого підходу є складність практичного пристосування розробленої імітаційної моделі до існуючої інфраструктури залізниць. По суті для кожної дільниці або напрямку необхідна побудова нової моделі, яка вимагає великих витрат часу [21, 22].

Сучасні дослідження підтверджують ефективність застосування інтегрованої методології для розрахунку пропускної спроможності. При цьому на першому етапі доцільне використання аналітичних методів для початкового рішення (визначення схеми прокладання), після чого на другому етапі здійснюється коригування графіка руху за допомогою оптимізаційного методу, і на третьому етапі проводиться перевірка можливості реалізації розробленого графіка шляхом імітаційного моделювання процесу проходження поїздів.

7.3 Знімання поїздів в умовах змішаного руху на ВШМ

Частина часу доби, яка не може бути використана для пропускання поїздів основної швидкісної категорії через наявність у графіку поїздів із швидкісним режимом руху, відмінним від основної категорії, називається **часом знімання**.

На величину часу знімання впливають такі фактори:

- 1) співвідношення швидкостей руху поїздів різних категорій;
- 2) завантаженість залізничної дільниці;
- 3) кількість поїздів, які мають перевагу перед іншими поїздами;
- 4) неідентичність перегонів;
- 5) колійний розвиток роздільних пунктів дільниці;
- 6) тип графіка руху поїздів.

Відношення часу знімання до періоду графіка називається **коефіцієнтом знімання**. По суті коефіцієнтом знімання є число,

що показує, скільки поїздів основної швидкісної категорії знімає з графіка один поїзд відмінної швидкісної категорії.

Величина коефіцієнта знімання складається з двох частин:

$$\varepsilon = \varepsilon_0 + \varepsilon_d, \quad (7.2)$$

де ε_0 – коефіцієнт основного знімання;

ε_d – коефіцієнт додаткового знімання.

Перша частина (коефіцієнт основного знімання) характеризується різницею часу ходу по розрахунковій ділянці поїзда основної категорії і поїздів, відмінних від основної категорії (основне знімання),

$$\varepsilon_0 = \frac{V_{\text{відм.від осн}}}{V_{\text{осн.кат}}} = \Delta, \quad (7.3)$$

де $V_{\text{осн.кат}}$ – ходова швидкість поїзда основної швидкісної категорії, за якою ведеться розрахунок наявної пропускної спроможності;

$V_{\text{відм.від осн}}$ – ходова швидкість поїзда, яка відрізняється від швидкості руху поїздів основної категорії.

Основний коефіцієнт знімання являє собою мінімальне значення коефіцієнта знімання. Таким чином, чим менше розрив між швидкостями різних категорій поїздів, тим менше коефіцієнт основного знімання.

Друга частина коефіцієнта знімання залежить від розташування поїздів нижчої категорії і кратності часу, що залишається після їхнього прокладання на графіку, розрахункового періоду графіка для високошвидкісних поїздів

$$\varepsilon_d = \frac{1440 - \sum T_{\text{відм.від осн}}}{T_{\text{пер}}}, \quad (7.4)$$

де $\sum T_{\text{відм.від осн}}$ – сумарний час зайняття перегону поїздами, швидкість у яких менше, ніж у поїздів швидкісної (основної) категорії;

$T_{\text{пер}}$ – період графіка на обмежувальному перегоні.

Прокладати поїзди, швидкість у яких відмінна від швидкості основної категорії поїздів (швидкісних), на графіку треба так, щоб $\varepsilon_{\partial} \rightarrow 0$. На одноколійних лініях, коли розрахунок ведеться в парях поїздів, дріб, який може бути отриманий у результаті формули, має бути досліджено на можливість використання його для пропускання ще одного поїзда парного або непарного напрямку.

Теоретично точно визначити коефіцієнт додаткового знімання неможливо, практично ε_{∂} може бути обчислено тільки при побудові графіка. Для орієнтовних розрахунків його визначають на основі статистичної обробки даних експериментальних і виконаних графіків руху.

Підходи до визначення коефіцієнта знімання на одноколійній і двоколійних ділянках розрізняються лише при розрахунку коефіцієнта додаткового знімання.

На рисунку 7.1 схематично подано виникнення зон знімання на обмежувальному перегоні одноколійної ділянці при пропусканні на лінії швидкісного руху поїзда з меншою швидкістю, ніж у поїздів основної швидкісної категорії.

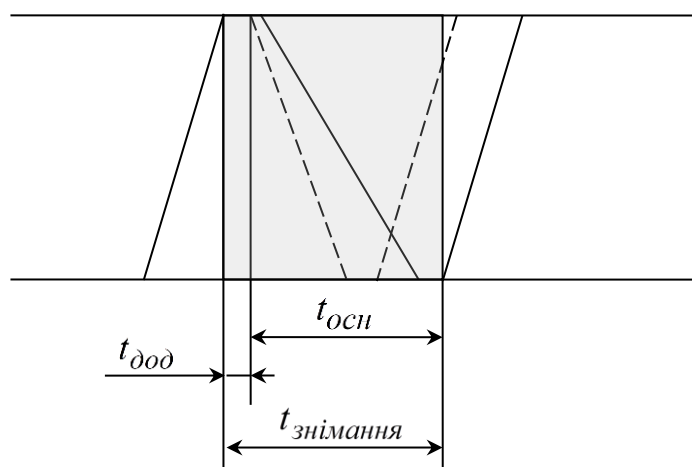


Рисунок 7.1 – Схема виникнення часу основного і додаткового знімання при пропусканні на лінії швидкісного руху поїзда з меншою швидкістю, ніж у поїздів швидкісної категорії

В умовах, якщо на залізничній лінії високошвидкісні поїзди використовуються не як основна категорія поїздів, за якою проводиться розрахунок пропускнуої спроможності, то необхідно перевірити забезпеченість таких поїздів прийнятно-відправними коліями на проміжних роздільних пунктах окремо за напрямками

руху. Якщо кількість обгінних колій на ділянці виявиться недостатньою, то матиме місце додаткове знімання при нестачі обгінних колій.

ЛЕКЦІЯ 8. Автоматизація диспетчерського управління перевізним процесом на лініях ВШМ

План

8.1 Автоматизація диспетчерського управління.

8.2 Сучасні інтелектуальні системи диспетчерського управління.

8.3 Програмні комплекси оптимізації графіка руху високошвидкісних поїздів.

8.1 Автоматизація диспетчерського управління

Високошвидкісні магістралі зазвичай функціонують у режимах руху поїздів з різними швидкостями, в цих випадках, крім контролю за рухом поїздів і роботою устаткування з використанням засобів автоматики і телемеханіки, диспетчер повинен вирішувати завдання, пов'язане з управлінням транспортними потоками. У таких умовах необхідним є створення систем диспетчерського управління рухом, які дозволили б виключити складний і рутинний процес приготування маршрутів і контролю за рухом поїздів за рахунок упровадження автоматичних функцій (автодиспетчер), а також інтегрувати управління всіма існуючими підсистемами [2]:

- система сигналізації і контролю (англ. Commanding Signalling System);
- центр диспетчерського управління (англ. ETCS Central Operation);
- енергозабезпечення лінії (англ. Energy Scadas);
- система безпеки (англ. Safety Detector Systems);
- система інформування пасажирів (англ. Passenger Information System).

В основі автоматизованого диспетчерського управління мають бути принципи:

- управління рухом поїздів на дільниці з обслуговуванням одним диспетчером;
- виконання технологічних нормативів, що містяться у графіку руху поїздів і плані формування поїздів;
- реалізації технологічних процесів на основі технічного нормування експлуатаційної роботи і забезпечення безпеки руху поїздів.

Автоматизовані системи диспетчерського управління рухом поїздів мають забезпечувати можливість управління рухом поїздів на основі:

- використання інформаційних технологій, засобів мікропроцесорної, обчислювальної, телекомунікаційної техніки для вирішення функціональних завдань;
- концентрації та інтеграції диспетчерського управління і контролю за рухом поїздів на залізницях і лініях у диспетчерських центрах;
- автоматизації функцій диспетчерського управління і контролю та інших функцій, моделювання процесу руху поїздів на дільницях і напрямках залізниць;
- концентрації управління рухом поїздів на великих станціях і прилеглих до них станціях, роз'їздах та обгінних пунктах, пересуваннями у віддалених парках.

Застосування автоматизованих систем диспетчерського управління рухом поїздів забезпечує:

- підвищення безпеки та поліпшення показників виконання прийнятого графіка руху поїздів за рахунок оперативності управління;
- збільшення зон управління і поліпшення умов праці оперативного персоналу за рахунок розширення технологічних можливостей управління станційними об'єктами і надання довідково-інформаційного та інших видів забезпечення;
- зниження капітальних витрат на впровадження систем за рахунок скорочення виробничих площ, зайнятих апаратурою, термінів проведення проєктних, будівельно-монтажних і пуско-налагоджувальних робіт;

- зниження експлуатаційних витрат за рахунок підвищення надійності пристроїв, розширення їхніх контрольних і діагностичних функцій, обслуговування пристроїв за їхнім фактичним станом і скорочення чисельності персоналу.

8.2 Сучасні інтелектуальні системи диспетчерського управління

У класичній реалізації системи диспетчерського управління кожною підсистемою керують окремо. На ВШМ потрібне створення інтегрованої інтелектуальної транспортної системи управління (англ. Integrated Intelligent Transport Management System). В основі даної інтелектуальної системи мають бути інтегровані такі функції:

- планування за рахунок спеціального вбудованого інструменту;
- відстеження руху поїздів, прогнозування трафіка і перепланування в режимі реального часу;
- автоматична та інтелектуальна маршрутизація;
- автоматична ідентифікація поїздів;
- автоматична система інформування пасажирів і т. ін.

Однією з таких інтелектуальних систем є система COSMOS, що використовується на лінії Shinkansen, Японія [16], схема якої зображена на рисунку 8.1.

COSMOS: Computerized Safety, Maintenance and Operation Systems of Shinkansen

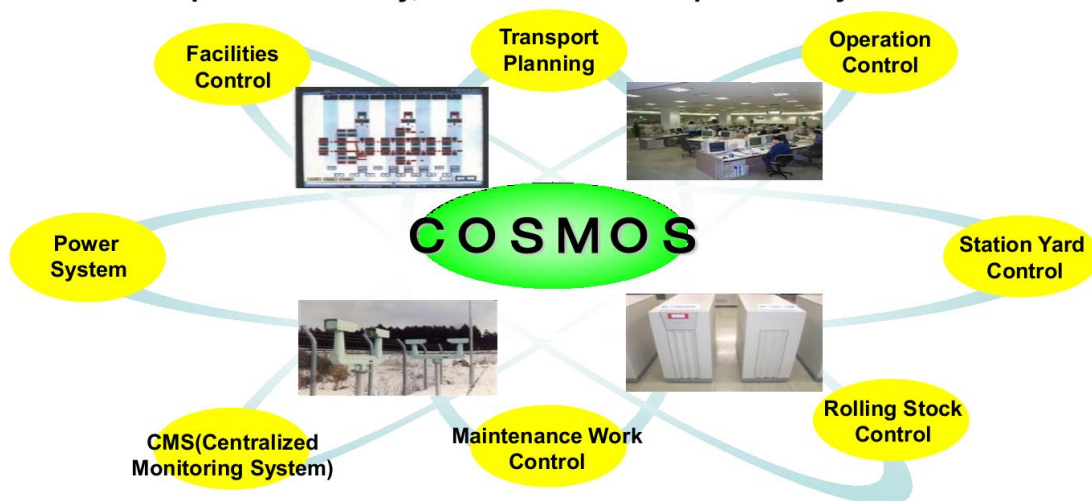


Рисунок 8.1 – Схема системи COSMOS

Система COSMOS контролює параметри зовнішнього середовища і наявність факторів, які загрожують безпеці руху поїздів. Дана система об'єднує різні прилади і пристрої, що реєструють на різних відстанях несприятливі фактори (землетруси, обвали, випадання високого рівня опадів), і передає інформацію машиністу, який за необхідності приймає рішення про зниження швидкості або повну зупинку складу в небезпечних умовах. Система дозволяє з єдиного диспетчерського центру управління JR відстежувати виконання графіка руху поїздів. Із застосуванням спеціального системного обладнання, встановленого у диспетчерів і старших змін, що відповідають за певний напрямок, відстежується рух усіх поїздів у реальному часі і при необхідності система автоматично вносить коректування в графік розкладу руху поїздів (у разі затримки) або видає рекомендації про скасування поїзда (у разі збою графіка). Крім того, система відстежує розташування поїзда, контролює швидкість руху наступного складу, забезпечуючи його зупинку або рух на безпечній відстані [16]. Функціональний склад системи подано на рисунку 8.2.

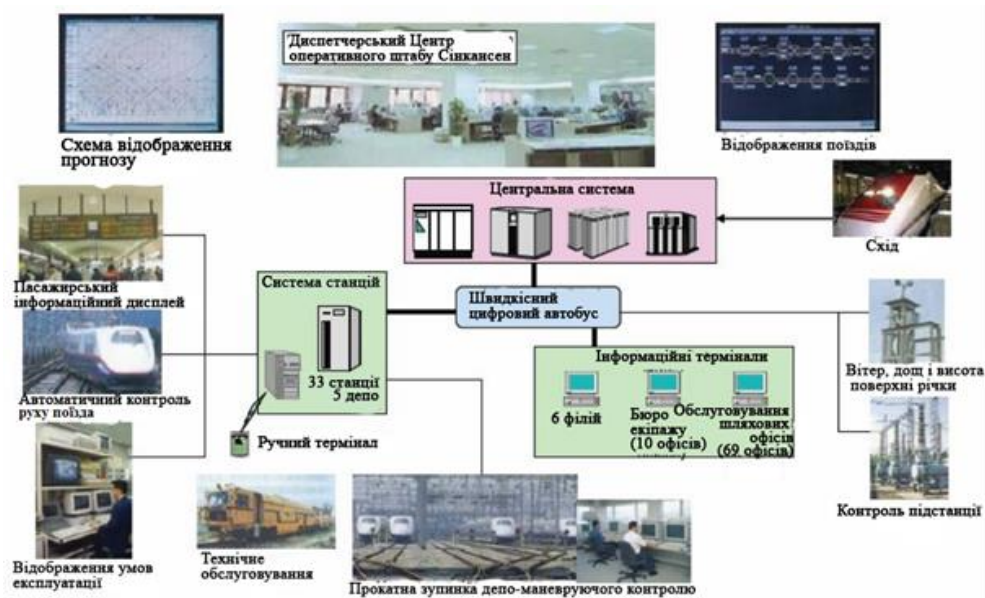


Рисунок 8.2 – Схема інтегрованих завдань в інтелектуальній системі COSMOS

Ще одним прикладом інтелектуальної системи диспетчерського управління рухом поїздів на ВШМ є система

COMTRAC (англ. COMputer-aided TRAffic Control), яка використовується на лінії Токайдо-Сінкансен (рисунок 8.3).



Рисунок 8.3 – Схема підсистем, які інтегровані в систему COMTRAC

8.3 Програмні комплекси оптимізації графіка руху високошвидкісних поїздів

Багато сучасних залізничних компаній світу використовують новий підхід до автоматизації диспетчерського управління рухом поїздів, запропонувавши програмні комплекси, що дозволяють об'єднати в одному інформаційному полі завдання розроблення, коригування та оперативного супроводу графіка руху поїздів, планування обслуговування і ремонту інфраструктури ВШМ, аналіз і прийняття рішень в умовах збоїв графіка руху [16]. У такому програмному комплексі можливе в реальному часі безперервне порівняння фактичних даних про рух поїздів з плановим графіком і при відхиленнях від нього внесення поправок в режимі онлайн. Основна мета коригування розкладу – скорочення запізнь поїздів у зв'язку з експлуатаційними обмеженнями таких видів:

- топологічні (довжина колій, їхня вільність, ухили, обмеження швидкості);
- поїзні (довжина поїзда, пріоритетність і тягові характеристики);

- графікові (час відправлення, проміжні зупинки та узгоджений підхід поїздів до станцій).

В існуючих системах застосовуються сучасні методи оптимізації автоматичного диспетчерського управління рухом поїздів. Для забезпечення оптимального результату поправки вносяться не локально, а створюється повністю новий графік руху. Крім того, у рамках системи розглядається не тільки зміна часу відправлення (як у стандартних модулях управління рухом поїздів), але також альтернативні маршрути і зміна порядку проходження поїздів. Для роботи в реальному часі використовуються складні моделі та алгоритми дискретної оптимізації. Ця технологія вже кілька років застосовується в системах підготовки розкладів і дозволяє складати безконфліктні графіки руху з точністю до маршрутів і секунд.

Нормативний графік зазвичай складається автономними системами планування, і саме щодо цього графіка оцінюються фактичні затримки поїздів. В оперативному графіку відображені як фактичне пересування поїздів у минулому, так і прогноз руху на заданий період. Цей графік використовується в автоматичній системі диспетчерського управління рухом поїздів. Виконаний графік – це підсумковий стан оперативного графіка.

Програма управління графіком формує оперативний графік, включаючи в нього отримані від програми стеження за поїздами дані про їхнє поточне місцезнаходження. Розрахунок прогнозованого руху для одного або декількох поїздів здійснюється на основі даних про фактичний рух та існуючі обмеження (наприклад обмеження швидкості або зайнятості колій). Істотні відхилення фактичного руху від заданого можуть призвести до неузгоджень у прогнозованому графіку. Програма управління графіком автоматично виявляє подібні конфлікти і самостійно запускає їхній дозвіл компонентами автоматичного диспетчера. Сформований оперативний графік передається в систему управління для автоматичного установаження поїзних маршрутів.

«Автоматичний диспетчер» є основним механізмом регулювання конфліктів, що виникають в оперативному графіку, і здійснення оптимізації. Основною метою процедури оптимізації є скорочення запізнень поїздів (збільшення пропускну

спроможності), викликаних експлуатаційними обмеженнями. Результати оптимізації, виробленої «автоматичним диспетчером», вносяться в оперативний графік програмою управління графіком. Також «автоматичний диспетчер» відповідає за обробку команд, що вводяться вручну оператором через графічний інтерфейс графіка руху.

Графічний інтерфейс користувача відображує графіки різних типів і дозволяє оператору вносити зміни в графік-прогноз. Головним вікном є інтерфейс диспетчерського графіка, у якому рух поїздів по нитках відображується як функція часу [16]. На рисунку 8.4 наведено приклад такого інтерфейсу. Користувач може працювати безпосередньо в самому вікні, створюючи, вибираючи, змінюючи або видаляючи об'єкти графіка (окремі нитки, маршрути, зупинки, схрещення і т. д.).

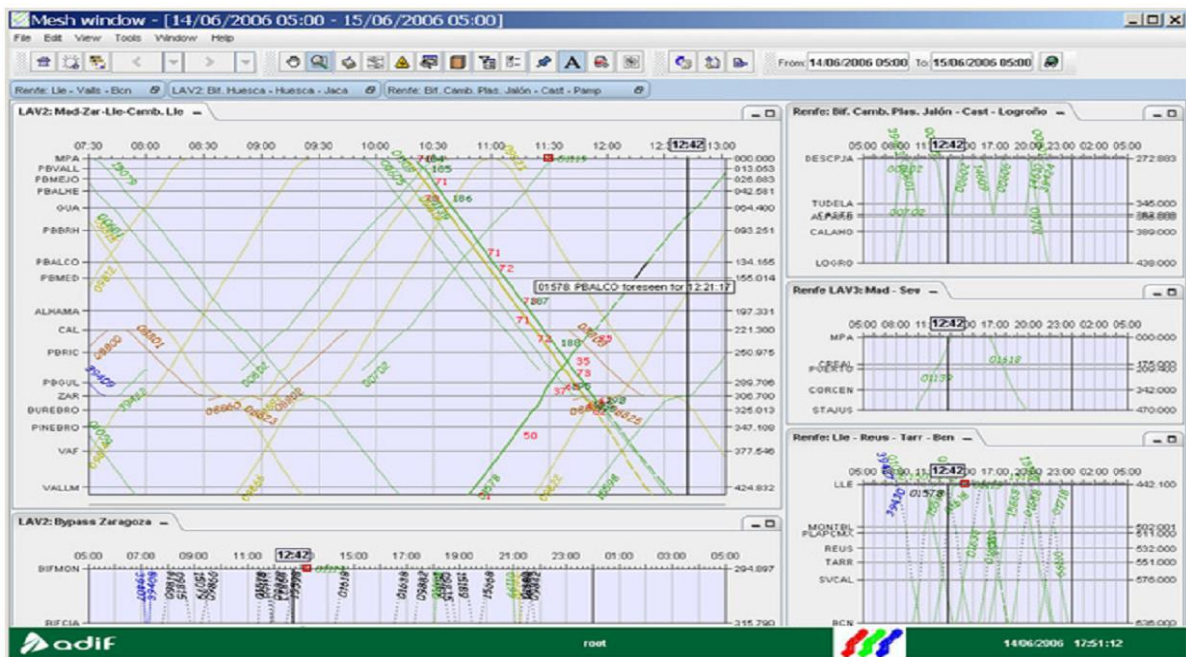


Рисунок 8.4 – Інтерфейс програмного комплексу для оптимізації графіка руху поїздів

Розроблений комплекс автоматизації диспетчерського управління рухом поїздів заснований на глобальній оптимізації графіка руху в поєднанні з застосуванням моделей та алгоритмів теорії графів. Він дозволяє істотно скоротити запізнення поїздів порівняно з ручним диспетчерським управлінням при виникненні технічних збоїв, що підтверджено моделюванням близьких до

дійсності сценаріїв для реальних залізничних ліній. При цьому можна очікувати також зниження енерговитрат завдяки виключенню додаткових зупинок і рушанню з місця, викликаних затримками інших поїздів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1 Пасажи́рські перевезення (залі́зничний транспорт): навч. посіб. / Т. В. Бутько, О. А. Малахова, А. В. Прохорченко, Д. В. Константинов; за ред. Т. В. Бутько. Харків: Райдер, 2014. С. 190–194.

2 Vickerman R. High-speed rail in Europe: experience and issues for future development. *The Annals of Regional Science*, 1997. № 31. P. 21–38.

3 Givoni, M. Development and impact of the Modern High-Speed Train. *Transport Review*. 2006. Vol. 26, No. 5. P. 593–611.

4 International Union of Railways. URL: <https://uic.org/> (дата звернення: 10.06.2021).

5 Economic Analysis of High Speed Rail in Europe / Ginés de Rus, Ignacio Barrón, Javier Campos, etc. Fundación BBVA. Plaza de San Nicolás, 4. 48005 Bilbao, 2009. 140 p.

6 Kerner B. S. Experimental features of self-organization in traffic flow. *Physical Review Letters*. 1998. V. 81, №. 17. 143 p.

7 Kerner B. S. Introduction to Modern Traffic Flow Theory and Control. Berlin: Springer, 2009. 278 p.

8 Інструкція з розрахунку наявної пропускної спроможності залізниць України: ЦД 0036. Затв. наказом Укрзалізниці 14.03.2001. № 143/Ц / М-во транспорту України, Держадміністрація залізничного транспорту України, Головне управління перевезень. Київ: Транспорт України, 2002. 375 с.

9 Інструкція зі складання графіка руху поїздів на залізницях України: ЦД-0040. Затв. наказом Укрзалізниці 05.04.2002 № 170-Ц. Київ, 2002. 142 с.

10 Interoperability of the trans-European high speed rail system: Directive 96/48/EC. URL: <https://www.transportstyrelsen.se/globalassets/global/jarnvag/english/tsi/tsi-highspeed-operation-techntext-2008-02-01.pdf> (дата звернення: 10.06.2021).

11 Commission Decision of 30 May 2002 concerning the technical specification for interoperability relating to the rolling stock subsystem of the trans-European high-speed rail system referred to in Article 6(1) of Directive 96/48/EC (Text with EEA relevance) (notified under document number C(2002) 1952): Directive 2002/735/EC. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX%3A32002D0735> (дата звернення: 10.06.2021).

12 Про затвердження Технічного регламенту безпеки рухомого складу залізничного транспорту. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1194-2015-%D0%BF#Text> (дата звернення: 10.06.2021).

13 The European Rail Traffic Management System. URL: https://www.ertms.net/?page_id=40 (дата звернення: 10.06.2021).

14 Phang S.-Y. Strategic development of airport and rail infrastructure: the case of Singapore. *Transport Policy*. 2003. №10. P. 27–33.

15 Fuchsberger Martin. Algorithms for railway traffic management in complex central station areas: a dissertation for the degree of doctor of sciences. Zurich. 2012. 145 p.

16 Efficient rail transport with the Vicos OC operations control system family: Cost-effective operations management. Siemens AG Industry Sector Mobility Division P.O. Box 3327D-38023 Braunschweig, Germany. 16 p.

17 Про розподілення пропускної спроможності залізничної інфраструктури, стягнення зборів за користування залізничною інфраструктурою та сертифікації на відповідність вимогам безпеки: Директива 2001/14/ЄС Європейського парламенту та Ради від 26.02.2001 р. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex:32001L0014>

18 Greenberg H. An Analysis of Traffic Flows. *Oper. Res.* 1959. V. 7. P. 79–85.

19 Varlet J. Dynamique des interconnexions des réseaux de transports rapides en Europe: devenir et diffusion spatiale d'un concept géographique. *Flux*. 2000. №41, P. 5–16.

20 Ейтутіс Г., Карпов В., Никифоруk О. Міжнародний вимір продуктивності залізничного транспорту України як основа вибору напрямів його модернізації. *Економіст*. 2014. № 5. С. 63–68.

21 Dinh Nguyen Pham. Complex Job Shop Scheduling: Formulations, Algorithms and a Healthcare Application. Thesis presented to the Faculty of Economics and Social Sciences at the University of Fribourg (Switzerland). 2008. P. 162.

22 Gonzalez, T., Sahni S. Open shop scheduling to minimize finish time. *J. ACM*. 1976. Vol. 23. P. 665–679.

23 Kontaxi Evangelia, Ricci Stefano. Railway capacity analysis: methodological framework and harmonization perspectives. 12th WCTR. July 11-15, 2010. Lisbon, Portugal. P. 21.

24 Рух пасажирських поїздів прискорений. Вимоги до інфраструктури та рухомого складу. СТП 01-005:2016. Затв. наказом ПАТ «Укрзалізниця» від 29.04.2016 № 343. Київ, 2016. С. 87.

ОРГАНІЗАЦІЯ ШВИДКІСНИХ
ТА ВИСОКОШВИДКІСНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ

Конспект лекцій

Частина 1

Відповідальний за випуск Константинов Д. В.,

Редактор Третьякова К. А.

Підписано до друку 30.06.21 р.

Формат паперу 60x84 1/16. Папір писальний.

Умовн.-друк.арк. 3,5. Тираж 5. Замовлення №

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

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