

УДК 656.052.432

**НАПРЯМКИ ПІДВИЩЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ДІЛЬНИЦЬ
ВИСОКОШВИДКІСНИХ МАГІСТРАЛЕЙ УКРАЇНИ**

Д-р техн. наук Є. С. Альошинський, магістрант І. Г. Стасюк

**НАПРАВЛЕНИЯ ПОВЫШЕНИЯ ПРОДУКТИВНОСТИ УЧАСТКОВ
ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ МАГИСТРАЛЕЙ УКРАИНЫ**

Д-р тех. наук Е. С. Алёшинский, магистрант И. Г. Стасюк

**INCREASING PRODUCTIVITY DIRECTION OF UKRAINE RAILWAYS HIGH-SPEED
LINES**

Dr. of tehn. E. Alyoshinsky, master student I. Stasiuk

Розглянуто питання щодо удосконалення залізничних магістралей України за рахунок електрифікації ділянок мережі ВШМ. Проаналізовано проблеми нераціонального простоя і перепробігу рухомого складу на лінії ВШМ. Запропоновано варіанти раціоналізації часу прямування пасажирських поїздів.

Ключові слова: високошвидкісні магістралі, електрифікація, контактна мережа, раціоналізація часу.

Рассмотрены вопросы по усовершенствованию железнодорожных магистралей Украины за счет электрификации участков сети ВСМ. Проведен анализ проблемы нерационального простоя и перепробега подвижного состава на линии ВСМ. Предложены варианты рационализации времени следования скоростных пассажирских поездов.

Ключевые слова: высокоскоростные магистрали, электрификация, контактная сеть, рационализация времени.

This article discusses questions on improving railways of Ukraine through railways high-speed lines electrification. Discusses same problems unsustainable the standing and the rerunning trains of the high-speed lines. Invited options optimization and decrease time to cross of high-speed passenger trains.

Keywords: high speed rail, electrification, contact line, optimization time.

Вступ. В умовах недостатчі інвестиційної привабливості довгострокових проектів поряд з виконанням різноманітних зовнішніх джерел фінансових ресурсів необхідно одночасно вести пошук додаткових можливостей з підвищення прибутку залізниці як основного внутрішнього джерела власних коштів, що можуть бути спрямовані на поточне відновлення та розвиток основних засобів залізничного транспорту. В цих умовах перспективи розвитку та підвищення ефективності функціонування залізничної галузі України можуть визначатися реалізацією проекту впровадження швидкісного руху.

Високошвидкісний залізничний транспорт (ВШЗТ) забезпечує рух поїздів зі швидкістю понад 250 км/год по спеціалізованих коліях або зі швидкістю понад 200 км/год по існуючих коліях. Рух таких поїздів, як правило, здійснюється по високошвидкісних магістралях (ВШМ) [1, 6, 14, 15]. На ВШЗТ використовуються технології, аналогічні стандартним технологіям залізничного транспорту. Відмінності ж обумовлені перш за все високою швидкістю руху, що тягне за собою зростання таких параметрів, як відцентрові сили (виникають при проходженні поїздом кривих дільниць колії, можуть викликати стан дискомфорту у пасажирів) і опір руху.

Ключові технічні проблеми високошвидкісних залізничних магістралей все більше концентруються навколо питань підвищення максимальної та маршрутної швидкості з визначенням її оптимальної межі з позицій безпеки, привабливості для пасажирів, енергетичного балансу, капітальних вкладень, експлуатаційних витрат, отримання максимальних доходів, а також (що стає все більш актуальним) охорони навколишнього середовища [3].

В цілому підвищення швидкості руху поїздів обмежують такі фактори:

- аеродинаміка;
- механічний опір колії;

- тягові та гальмівні потужності;
- динамічна стійкість руху;
- відсутність відповідного рухомого складу;
- відсутність електрифікації окремих дільниць ліній ВШМ.

Оновлення рухомого складу залізниць за рахунок коштів державного бюджету через обмежені можливості практично не відбувається. В сучасних умовах господарювання залізничного транспорту для оновлення основних засобів залізниць доцільно використовувати змішане фінансування, а саме – фінансування розвитку залізниць за рахунок власних коштів із зовнішніх джерел [1,14].

Враховуючи проблеми залізничної галузі, які пов'язані з необхідністю оновлення та модернізації, а також з необхідністю реалізації масштабних будівельних інвестиційних проектів залізничної інфраструктури, виникає проблема обґрунтування розвитку інфраструктури залізничного транспорту України. Відповідно до світових стандартів це дозволить внести пропозиції відносно впровадження сучасних принципів його функціонування.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Багато вчених займалися питаннями доцільності впровадження швидкісного руху на існуючих залізничних лініях при їх модернізації [7, 8, 12]. У роботі В.Ю. Козлова [9] було проведено дослідження щодо досягнення максимальних швидкостей за умови суміщеного руху вантажних і пасажирських поїздів та встановлення раціонального числа швидкісних пасажирських поїздів.

У роботі проф. І.Т. Козлова [13] проведено аналіз можливих реконструктивних заходів щодо збільшення пропускної спроможності залізниць, встановлені аналітичні залежності, що визначають капітальні вкладення і експлуатаційні витрати при різних схемах розвитку залізничних ліній, розроблені алгоритми вибору оптимальної схеми

етапного розвитку ліній з використанням методів математичного аналізу (метод ітерації, метод градієнтного спуску, метод спуску по координатній сітці).

Проф. І.В. Турбіним був запропонований метод [8,10] поетапної реалізації заходів щодо зняття обмежень швидкості руху поїздів з урахуванням виділених на кожен рік матеріальних засобів.

Передача частини поїздопотоків на кружний рух є одним із способів підвищення пропускної спроможності лінії. У дослідженні Н.А. Воробйова, Б.В. Лашутіна і В.К. Суворова [11] подана методика оптимального розподілу пасажирських і вантажних потоків на паралельних залізничних лініях, заснована на методі динамічного програмування.

Мета статті. Аналіз роботи дільниці Білопілля – Люботин після впровадження електрифікації для швидкісного пасажирського руху.

Основна частина. Основними напрямками реформування залізничного транспорту в частині основних засобів, що вимагають значних сум фінансування, крім модернізації рухомого складу та основних технічних засобів інфраструктури, є електрифікація залізниць.

Для прикладу розглянуто проект електрифікації дільниці Білопілля – Люботин, що обслуговує швидкісні поїзди №776/775 сполученням Київ-Суми-Харків.

На даний час загальними вимогами до технології роботи зазначеної дільниці є узгодженість і безперервність всіх окремих технологічних операцій з приймання і відправлення пасажирських поїздів, а також з підготовки составів до чергового рейсу. Це дозволяє до мінімуму скоротити загальну тривалість операцій з поїздами і складами завдяки максимальному поєднанню їх у часі і мінімальним строкам виконання на основі правильного розміщення обслуговуючого персоналу і застосування автоматизації та механізації робіт.

Одним з напрямків підвищення експлуатаційних характеристик ліній ВШМ

України (як зазначено вище) є їх електрифікація, у зв'язку з тим, що контактна мережа є найважливішим елементом системи тягового електропостачання електричного транспорту. Від надійної роботи контактної мережі багато в чому залежить успішне виконання основної функції залізничного транспорту – своєчасне перевезення пасажирів і вантажів відповідно до заданого графіка руху.

Головне завдання контактної мережі – передача електроенергії рухомому складу за рахунок надійного, економічного та екологічно чистого струмознімання в розрахункових метеорологічних умовах при встановлених швидкостях руху [2].

Основними елементами контактної мережі з контактною підвіскою є дрти контактної мережі (контактний провід, несучий трос, підсилюючий провід і т. ін.), опори, що підтримують пристрої (консолі, гнучкі поперечки і жорсткі поперечки), та ізолятори.

Для проектування контактної мережі необхідно розрахувати загальну довжину і марку проводів на зазначеній проектній дільниці. Виходячи з результатів розрахунків системи тягового електропостачання, а також тягових розрахунків визначити тип контактної підвіски відповідно до максимальних швидкостей руху електрорухомого складу та інших умов струмознімання; знайти довжини прольоту; вибрати довжину анкерних ділянок, типи опор і підтримуючих пристроїв для перегонів; розробити конструкції контактної мережі в штучних спорудах; розмістити опори і скласти плани контактної мережі на станціях і перегонах з узгодженням зигзагів проводів і урахуванням виконання повітряних стрілок і елементів секціонування контактної мережі.

Тягові двигуни постійного струму, що застосовуються в електровозах при системі постійного і однофазного струму, не мають принципових відмінностей за конструкцією

від тягових двигунів тепловозів з електропередачею. Але зазвичай їх розраховують на більшу напругу і менший струм. Отже, характеристика їх обмоток буде інша. У тепловозах потужність тягових двигунів обмежується потужністю дизеля, а в електровозах – умовами зчеплення і іншими показниками. Вони забезпечують безіскрове знімання струму при дуже великих швидкостях руху, добре вписуються в контактну мережу, не вимагають перестановки при зміні напрямку

руху, управління ними може бути ручне й дистанційне.

Під час проектування пристроїв та систем електропостачання залізниць необхідно використовувати результати тягових розрахунків, що дозволить визначити витрати електроенергії для поїздів різних типів та маси в залежності від профілю колії даної дільниці [5].

Для розрахунку витрат на реалізацію проекту електрифікації визначено вихідні дані, що зведені до таблиці.

Таблиця

Загальна характеристика проектної електрифікації дільниці Білопіль-Люботин

Параметри дільниці	Умовне позначення	Характеристика
Система струму		змінний
Довжина ділянки, що електрифікується, км	L	230 км
Профіль колії		не рівнинний
Тип електровоза пасажирського		ЧС4, ДС3, ВЛ82М ЧС8
Маса пасажирського потяга, т	$Q_{\text{пас}}$	1280
Число пар пасажирських поїздів за добу	$N_{\text{пас}}$	15
Питома витрата електроенергії, Вт·год/(ткм·брутто)	$W_{\text{пас}}$	20,9
Технічна швидкість, км/год	$V_{\text{пас}}$	106

На підставі вихідних даних проведено розрахунки капітальних та експлуатаційних витрат на реалізацію проекту електрифікації та можливого економічного ефекту від запропонованих заходів.

Визначено об'єм пасажирських перевезень

$$\sum pl_{\text{пас}} = 2 \cdot N_{\text{пас}} \cdot 365 \cdot Q_{\text{пас}} \cdot L \cdot 10^{-6}, \quad (1)$$

де $Q_{\text{пас}}$ - маса пасажирського поїзда;

$N_{\text{пас}}$ - кількість пар пасажирських поїздів за добу.

$$\begin{aligned} \sum pl_{\text{пас}} &= 2 \cdot 15 \cdot 365 \cdot 1280 \cdot 230 \cdot 10^{-6} = \\ &= 3223,68 \text{ млн ткм брутто.} \end{aligned}$$

Витрата електроенергії на тягу поїздів складає

$$W_{\text{т.рік}} = (\sum pl_{\text{пас}} \cdot W_{\text{пас}}), \quad (2)$$

де $W_{\text{т.рік}}$ – питома витрата електроенергії на тягу поїздів за рік.

$$W_{\text{т.рік}} = (3223,68 \cdot 20,9) \cdot 10^{-3} = 67,37 \text{ М} \cdot \text{кВт} \cdot \text{год}$$

Загальне електроспоживання на тягу поїздів визначається як

$$W_{\text{т.рік}} = W_{\text{т.рік}} \cdot k_{\text{д}} \cdot k_{\text{нм}} \cdot k_{\text{з}} \cdot k_{\text{д}} \cdot k_{\text{у}}, \quad (3)$$

де $k_{\text{д}}$ – коефіцієнт, що враховує додаткове електроспоживання на власні потреби електровозів і їх маневри, $k_{\text{д}}=1,08$;

k_{HM} – коефіцієнт місячної нерівномірності руху, $k_{HM}=1,1-1,65$;

k_3 – коефіцієнт, що враховує електроспоживання в зимових умовах (враховувати лише в зимових умовах), $k_3=1,15$;

k_d – коефіцієнт, що враховує перехід від середнього значення випрямленого струму

до діючого значення перемінного струму, $k_d=0,97$;

k_u – відношення діючого значення напруги первинної обмотки трансформатора електровоза до середнього значення випрямленої напруги, $k_u=1,11$.

$$W_{T.PIK} = 67,37 \cdot 1,08 \cdot 1,1 \cdot 1,15 \cdot 0,97 \cdot 1,11 = 99,1 \text{ млн} \cdot \text{кВт} \cdot \text{год.}$$

Далі визначено середньодобову витрату електроенергії на тягу поїздів

$$W_T = k_{MII} \cdot k_{HM} \cdot L \cdot 10^{-3} \cdot \sum N_i Q_i w_i; \quad (4)$$

де k_{MII} – коефіцієнт, що враховує витрати електроенергії при маневровій роботі, $k_{MII}=1,1$;

k_{HM} – коефіцієнт місячної нерівномірності руху, $k_{HM}=1,1-1,15$;

N_i – добове число поїздів кожного типу;

Q_i – маса поїзда кожного типу, т;

w_i – питома витрата електроенергії на тягу поїздів, Вт·год/(ткм брутто).

$$W_T = 1,1 \cdot 1,12 \cdot 230 \cdot 10^{-3} \cdot (1280 \cdot 15 \cdot 20,9) = 113,70 \cdot 10^3 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Визначено витрату електроенергії на тягу поїздів за рік

$$W'_{\text{річ}} = W_T \cdot 365, \quad (5)$$

$$W'_{\text{річ}} = 113,70 \cdot 10^3 \cdot 365 = 415 \text{ млн} \cdot \text{кВт} \cdot \text{год}$$

Загальні грошові витрати на електроенергію визначено як

$$E_{\text{ел}} = W'_{\text{річ}} \cdot C_{1\text{кВт}} \quad (6)$$

де $C_{1\text{кВт}}$ – вартість 1кВт електроенергії для підприємства, $C_{1\text{кВт}}=156,82$ грн/кВт·год;

$$E_{\text{ел}} = 415000000 \cdot 156,82 = 65080300000 \text{ грн} \cdot \text{р.}$$

Визначено середньодобову витрату на паливо для тепловозної тяги

$$W_{T.PI} = k_{MII.PI} \cdot k_{HM} \cdot L \cdot 10^{-3} \cdot \sum N_i Q_i w_j; \quad (7)$$

де $k_{MII.PI}$ – коефіцієнт, що враховує витрати на паливо при маневровій роботі, $k_{MII.PI}=1,08$;

Q_j – маса поїзда кожного типу з тепловозною тягою, $Q_j=773$ т;

w_j – питома витрата палива на тягу поїздів, $w_j=5,08$ кг/ткм брутто.

$$W_{T.PI} = 1,08 \cdot 1,13 \cdot 230 \cdot 10^{-3} \cdot 15 \cdot 773 \cdot 5,08 = 163,70 \cdot 10^3 \text{ кг} \cdot \text{год.}$$

Визначено витрати палива на тягу поїздів за рік, що складатимуть

$$W''_{\text{річ}} = W_{T.PI} \cdot 365; \quad (8)$$

$$W''_{\text{річ}} = 163,70 \cdot 10^3 \cdot 365 = 59,75 \text{ млн} \text{ кг} \cdot \text{год.}$$

Грошові витрати на електроенергію визначаються як

$$E_{\text{п}} = W'_{\text{річ}} \cdot C_{1\text{кг}}; \quad (9)$$

де $C_{1\text{кг}}$ – вартість 1 кВт електроенергії для підприємства, $C_{1\text{кг}}=22,35$ грн;

$$E_{\text{п}}=59,750 \cdot 10^3 \cdot 22,35=1335423675 \text{ грн.}$$

Сума капітальних вкладень для проектування електрифікації складає

$$K=C \cdot L; \quad (10)$$

де C – вартість електрифікації 1 км колій становить 2,1 млн грн.

Тоді затрати на будівництво електромережі складатимуть:

$$K = 2,1 \cdot 230 = 483 \text{ млн грн.}$$

На наступному етапі необхідно визначити ефективність запропонованих впроваджень.

Завдяки введенню електрифікації відбудеться раціоналізація часу на маршруті прямування поїздів. Для прикладу розглянуто пару пасажирських поїздів №776/775 сполученням Київ-Суми-Харків. Час відправлення зі станції Суми о 5 год 36 хв, час прибуття на станцію Харків-Пас. о 8 год 57 хв. Загальний час прямування поїзда 3 год 35 хв. Час відправлення зі стації Люботин о 8 год 21 хв, час прибуття на станцію Люботин о 7 год 45 хв, з зупинкою протягом 36 хв. Під час зупинки поїзда відбувається причеплення до поїзного локомотива з тепловозною тягою локомотива на електричній тязі. Якщо побудувати контактну мережу на даній дільниці, можна позбутись зайвого простою пасажирських вагонів та зайвих перепробігів локомотивів (рисунок).

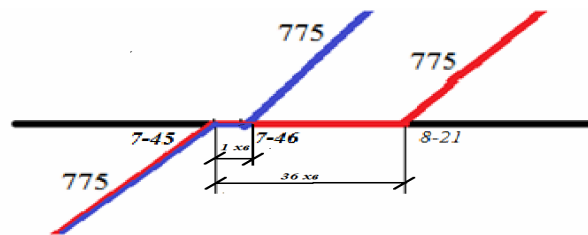


Рис. Економія часу за рахунок відсутності операцій з перечеплення поїзного локомотива на станції Люботин

Також в майбутньому з'являється можливість збільшити швидкість прямування поїздів ВШМ по існуючих коліях до 160-200 км/год за рахунок відсутності необхідності виконання операцій зі зміни локомотивів, а також скорочення часу виконання супровідних допоміжних й підготовчих операцій по прибутті поїзда на станцію.

Перед кожною країною, яка має намір ввести високошвидкісні магістралі (ВШМ), стає вибір: який тип експлуатаційної моделі застосувати, і кожна з них обирає свою концепцію будівництва або модернізації (порівнюючи витрати), виходячи з власних потреб. Розрізняють чотири типи експлуатаційних моделей [15].

1. Ексклюзивна модель експлуатації характеризується повним відокремленням ВШМ від традиційних магістралей. Використовується в Японії, де основною причиною розвитку системи високошвидкісної залізниці було те, що звичайні лінії досягли своїх меж потужності.

2. Змішана високошвидкісна модель. Характеризується тим, що швидкісний поїзд може працювати на спеціально побудованих нових лініях або на модернізованих сегментах звичайних ліній. Витрати на будівництво значно знижені. Застосовується на французьких лініях у поїздах TGV, де високошвидкісні поїзди в основному йдуть по нових

високошвидкісних лініях, але і використовуються на звичайних лініях в районах, де дублювання було недоцільним (при підходах до вокзалів в центрі міста).

3. Змішана традиційна модель. Передбачає пропуск деяких звичайних поїздів по ВШМ (Іспанія).

4. Повністю змішана модель. Ця модель використовується для системи ICE (Німеччина), де високошвидкісні поїзди використовують модернізовані звичайні лінії, а вантажні поїзди використовують резервну пропускну спроможність на високошвидкісних лініях в нічний час, тобто високошвидкісні і звичайні поїзди користуються інфраструктурою один одного.

Кожна модель експлуатації має свої переваги і недоліки. Ексклюзивна та змішана високошвидкісні моделі дозволяють більш інтенсивно використовувати інфраструктуру ВШМ, в той час як інші моделі повинні враховувати, що (за винятком багатоколієних ділянок ліній) повільні поїзди займають більше часу для проходження ділянки, що зменшує її пропускну спроможність [15].

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у

даному напрямку. Таким чином, завдяки реалізації проекту щодо електрифікації розглянутого напрямку дільниці ВШМ можна досягти суттєвих економічних та соціальних результатів. Зокрема:

- уникнути зайвої маневрової роботи на станціях Ворожба, Білопілля та Люботин;

- зменшити зайві перепробіги локомотивів, що у свою чергу сприятиме економії коштів та часу;

- зменшити час простою пасажирських вагонів в очікуванні заміни локомотива та локомотивної бригади на зазначених станціях;

- зменшити час перебування пасажирів в дорозі кожного рейсу за рахунок збільшення загальної середньої маршрутної швидкості на перегонах та скорочення простоїв на проміжних станціях напрямку прямування поїздів ВШМ мінімум на 35 хв на всіх станціях причеплення локомотивів та зміни локомотивної бригади;

- отримати суттєвий соціальний ефект за рахунок скорочення загального часу прямування пасажирських поїздів сполученням Київ-Суми-Харків приблизно на 17,3%.

Список використаних джерел

1. Офіційний сайт Укрзалізниці [Електронний ресурс]. – Режим доступу: www.uz.gov.ua.
2. Бондарев, Н. А. Контактная сеть [Текст] / Н.А. Бондарев, В.С. Чекулаев. – М.: Маршрут, 2009. – 590 с.
3. Пащенко, Ю. Є. Інтегральна ефективність швидкісних залізничних магістралей [Текст]: монографія / Ю.Є. Пащенко, М.Ю. Гончаров, Й.М. Кранц [та ін.]; за ред. С.І. Дорогунцова. – К.: РВПС України НАН України, 2005. – 266 с.
4. Матвийчук, Е. Н. Скоростное железнодорожное движение. Перспективы развития в Украине [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.masters.donntu.edu.ua/2008/kita/matviychuk/in d/index.htm>.
5. Фрайфельд, А. И. Проектирование контактной сети [Текст] / А.И. Фрайфельд. – М.: Транспорт, 1984. – 328 с.
6. High speed rail: Fast track to sustainable mobility. – 2012. – 36 p.
7. Савельев, В. Г. Организационно-экономические условия формирования системы скоростного движения пассажирских поездов на железных дорогах [Электронный ресурс]. – М., 1997. – Режим доступа: <http://economy-lib.com/disser/61563/a/?#?page=13>.

8. Турбин, И. В. Поэтапное повышение скоростей [Текст] / И.В. Турбин, С.И. Матвеев, М.И. Карпов // Железнодорожный транспорт. – 1990. - №3. – С. 15-16.
9. Козлов, В. Ю. Обоснование экономически рационального числа скоростных пассажирских поездов [Текст] / В.Ю. Козлов // Тр. МИИТ. – Вып. 715. – С. 90-94.
10. Турбин, И. В. Развитие метода формирования оптимальных схем овладения перевозками [Текст] / И.В. Турбин // Тр. МИИТ. – 1984. – Вып. 750. – С. 21.
11. Воробьев, Н. А. Методика распределения грузовых и пассажирских потоков на параллельных линиях [Текст] / Н.А. Воробьев, Б.В. Лашутин, В.К. Суворов // Тр. ВНИИЖТ. – 1969. – Вып. 403. – 160 с.
12. Харина, Е.В. Выбор рациональных мер по повышению скорости движения пассажирских поездов в условиях растущего объема грузовых и пассажирских перевозок [Электронный ресурс]. – М, 2004. – Режим доступа: <http://www.dissercat.com/content/vybor-ratsionalnykh-mer-po-povysheniyu-skorosti-dvizheniya-passazhirskikh-poezdov-v-usloviya#ixzz3d4XTD7fC>.
13. Козлов, И. Т. Выбор схем этапного развития железнодорожных линий [Текст] / И.Т. Козлов. – М.: Транспорт, 1964. – 155 с.
14. Аналіз можливості організації місцевої роботи на залізничних станціях в умовах впровадження швидкісного пасажирського руху [Текст] / Є.С. Альошинський, О.С. Губачова, Г.О. Сиваконева, С.О. Світлична, Т.О. Ланчак // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2012. – № 3(56), Т. 2.
15. Kirkwood L. Development of a Whole Life Cycle Cost Model for Electrification options on the UK Rail System / L. Kirkwood, L Giuntini, E. Shehab, P. Baguley [Текст] // Procedia CIRP. – Vol. 47. – 2016. – P. 1 – 5.

Альошинський Євгеній Семенович, д-р техн. наук, професор кафедри транспортних систем та логістики Українського державного університету залізничного транспорту. E-mail: aesevgeny@gmail.com.
Стасюк Ірина Геннадіївна, магістр ІППК Тел (066) 024-34-10. E-mail: ziro4ka_zirka@mail.ru.

Aleshinsky Eugene Semenovich, Doctor of technical Sciences, Professor of the Chair of transport systems and logistics of the Ukrainian state University of railway transport. E-mail: aesevgeny@gmail.com.
Stasiuk Iryna Hennadiievna, master IPPK. Tel. (066) 024-34-10. E-mail: ziro4ka_zirka@mail.ru.

Стаття прийнята 12.07.2016 р.