

А. А. БОСОВ, І. П. КОРЖЕНЕВИЧ, М. Б. КУРГАН (ДІПТ),
А. П. ЗУБКО (Укрзалізниця)

ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОГО НАБОРУ РЕКОНСТРУКТИВНИХ ЗАХОДІВ ДЛЯ ВПРОВАДЖЕННЯ ШВИДКІСНОГО РУХУ

Поставлена і вирішена задача оптимальної перебудови ділянки для впровадження швидкісного руху поїздів. Показано, що раціональний варіант залежить від виділених коштів на проведення реконструкції.

Поставлена и решена задача оптимального переустройства участка для внедрения скоростного движения поездов. Показано, что рациональный вариант зависит от выделенных средств на проведение реконструкции.

The paper has raised and proposed solution of the task of an optimum reorganization of railway section for introduction of high speed train services. It has been shown that the rational solution depends on the size of investments, allocated for the reconstruction.

Вступ

Кожна країна має потребу у високопродуктивній надійній екологічно чистій і конкурентноспроможній транспортній системі, що повною мірою задовольняє потреби її населення у швидкому і комфортному пересуванні і надійному забезпеченні вантажних перевезень.

Оскільки мережа українських залізниць взаємодіє з мережами залізниць інших країн, насамперед Росії, то підготовленість сусіднього регіону до впровадження швидкісного руху має велике значення для України.

Так, у Росії розроблена і прийнята Концепція організації швидкісного і високошвидкісного руху, що передбачає в ув'язуванні з білоруською й українською мережами поетапне підвищення швидкостей руху пасажирських поїздів до 160...200 км/год на існуючих залізничних лініях на період до 2010 року.

Один з десяти намічених полігонів швидкісного руху Москва–Суземка (488 км). Передбачається комплекс реконструктивних робіт з ліквідації бар'єрних місць, що перешкоджають організації швидкісного руху. Установлені розрахункові розміри руху (9 пар поїздів за добу), максимальна швидкість (160 км/год), час у дорозі (5 год 04 хв проти існуючого 8 год 01 хв), визначені терміни уведення швидкісного руху – 2010 рік.

Беручи до уваги програмні матеріали України [1–3], Головне управління розвитку та інвестицій Укрзалізниці і Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту провели наукові дослідження з розробкою стратегії підвищення швидкості руху поїздів на основних на-

прямках залізниць. Як приклад наводяться результати для напрямку Київ–Зернове Південно-Західної залізниці (рис. 1).

Метою дослідження є розробка стратегії підвищення швидкості руху поїздів на ділянці Київ–Зернове, що дозволить залучити додаткові об'єми перевезень при оптимальному використанні капіталовкладень на реконструкцію об'єктів.

Для виконання програми досліджень були зібрані й систематизовані дані про інфраструктуру, технічне оснащення, план і поздовжній профіль колії, визначені обсяги робіт з реконструкції ділянки для різних рівнів максимальної швидкості.

1. Загальні положення

Як показує практика, одночасна перебудова великого числа об'єктів неможлива по безлічі різних причин, основними з яких є обмеження фінансових і матеріально-технічних ресурсів. Звідси виникає задача вибору оптимальної послідовності реконструкції лінії при обмежених ресурсах. При цьому важливо не тільки раціонально розподілити капітальні вкладення по ділянках, але й ефективно їх використовувати.

При вирішенні задачі оптимальної перебудови ділянки залізнична лінія розглядається як комплексна система, що складається з пристроїв і споруд, які через недосконалий технічний стан можуть обмежувати рівень швидкостей руху поїздів на кожній конкретній ділянці. Тому виникає необхідність по кожному бар'єрному місцю на залізниці знати швидкість руху поїздів, що допускається, а також параметри, під які необхідно перевлаштувати залізницю, щоб реалізувати ці швидкості.

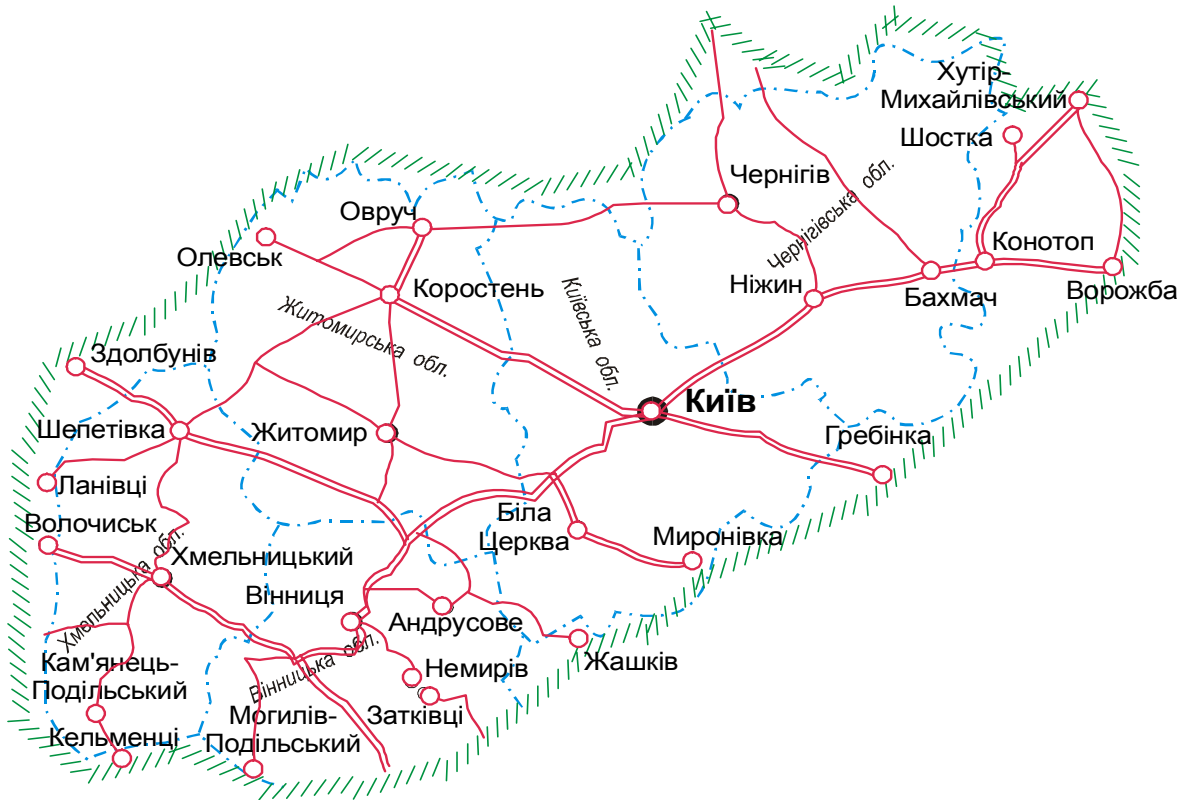


Рис. 1. Схема досліджуваного напрямку Київ–Ніжин–Конотоп–Хутір Михайлівський–Зернове

Задача оптимальної перебудови залізничної лінії для уведення швидкісного руху пасажирських поїздів відноситься до умовно-екстремальних задач. Для її вирішення використовують метод найскорішого спуску, метод динамічного програмування, метод невизначених множників Лагранжа та ін.

Кожний з названих методів має як позитивні, так і негативні сторони, а отже, і визначену сферу застосування. У ДПТі, під керівництвом проф. Босова А. А. розроблені і успішно застосовуються різні підходи, в яких використовуються метод векторної оптимізації [4–7].

2. Постановка задачі і метод вирішення

2.1. Формалізація задачі оптимальної перебудови ділянки. Всю ділянку від Києва до Зернового розбиваємо на елементи, які позначаємо через ω_i , $i = \overline{1, n}$. Кожен елемент характеризуємо його довжиною, швидкістю, що допускається V_{0i} , $i = \overline{1, n}$, і швидкостями V_{1i} , V_{2i} , V_{3i} , що можуть бути прийняті при реконструкції елемента. Кожній швидкості зіставляємо витрати C_{1i} , C_{2i} , C_{3i} . Тоді, якщо на елементі ω_i виконуються роботи на суму C_{1i} , то після реконструкції припустима швидкість дорівнює V_{1i} , величина

$$\Delta t_{1i} = \frac{l_i}{V_{0i}} - \frac{l_i}{V_{1i}}$$

буде оцінкою зверху скорочення часу руху поїзда по цьому елементу.

Задача. Необхідно знайти залежність витрат для всього напрямку, як функцію скорочення часу руху поїзда, і раціональну послідовність виконання робіт з перебудови ділянки Київ–Зернове.

Введемо в розгляд список

$$\gamma = \{[\omega_1, j_1], [\omega_2, j_2], \dots, [\omega_n, j_n]\},$$

де пара $[\omega_i, j_i]$ означає, що на елементі ω_i виконується робота, що дозволяє встановити швидкість руху рівну $V_{i j_i}$.

Тоді витрати, що відповідають списку γ будуть рівні

$$C(\gamma) = \sum_{i=1}^n C_{i j_i}, \quad (1)$$

а скорочення часу руху складе

$$\Delta t(\gamma) = \sum_{i=1}^n \Delta t_{i j_i}. \quad (2)$$

Бажання зроби́ти витрати $C(\gamma)$ як можна меншими, а скорочення часу руху $\Delta t(\gamma)$ як

найбільше, приводить до наступної задачі векторної оптимізації:

$$\begin{pmatrix} C(\gamma) \\ -\Delta t(\gamma) \end{pmatrix} \rightarrow \min \quad \text{при } \gamma \in \Gamma, \quad (3)$$

де Γ – набір усіляких робіт з реконструкції.

Помітимо, що в даній постановці роботи, які виконуються на елементі ω_i , не позначаються на роботі, які виконуються на інших елементах.

Для розв'язання задачі (3) скористаємося функцією Лагранжа

$$L(\gamma, \mu) = C(\gamma) - \mu \Delta t(\gamma),$$

максимізація якої дозволяє знайти список γ як функцію множника Лагранжа μ , ($\gamma = \gamma(\mu)$). Тим самим одержуємо можливість визначити витрати і скорочення часу руху як функції μ . Виключивши параметр μ , одержуємо залежність

$$C = C(\Delta t),$$

яку необхідно розуміти так, що при заданому скороченні часу руху Δt витрати $C(\Delta t)$ є максимальними.

2.2. Вихідна інформація для оптимізації.

Вихідна інформація напрямку Київ–Зернове наведена у табл. 1.

Таблиця 1

Вартість реконструкції станцій і перегонів

№ з/п	Машинне позначення елемента	Елемент	Довжина елемента, км	Існуюча допустима швидкість, км/год	Варіанти швидкості		
					1	2	3
1	2	3	4	5	6	7	8
1	ω_1	ст. Дарниця	2,446	80	$\frac{100}{2600}$		
2	ω_2	Дарниця–Бровари	13,165	120	$\frac{140}{11965}$	$\frac{160}{1750}$	
3	ω_3	ст. Бровари	2,846	100	$\frac{120}{2615}$		
4	ω_4	Бровари–Бобрик	18,778	120	$\frac{140}{10440}$	$\frac{160}{32600}$	
5	ω_5	ст. Бобрик	2,434	100	$\frac{120}{2055}$	$\frac{140}{10065}$	
6	ω_6	Бобрик–Заворичі	6,032	120	$\frac{140}{2420}$	$\frac{160}{8720}$	
7	ω_7	Заворичі–Бобровиці	16,692	120	$\frac{140}{13470}$	$\frac{160}{35510}$	
8	ω_8	ст. Бобровиці	2,774	100	$\frac{120}{2785}$	$\frac{140}{9830}$	
9	ω_9	пер. Бобровиці–Кобижчі	11,435	120	$\frac{140}{8940}$	$\frac{160}{16146}$	
10	ω_{10}	ст. Кобижчі	2,090	100	$\frac{100}{225}$	$\frac{120}{16225}$	
11	ω_{11}	Кобижчі–Носівка	8,330	140	$\frac{140}{780}$	$\frac{160}{5780}$	
12	ω_{12}	ст. Носівка	1,949	100	$\frac{100}{280}$	$\frac{120}{2920}$	
13	ω_{13}	Носівка–Ніжин	20,289	120	$\frac{140}{14550}$	$\frac{160}{29520}$	
14	ω_{14}	ст. Ніжин	5,472	80	$\frac{100}{1930}$	$\frac{120}{4380}$	
15	ω_{15}	Ніжин–Крути	15,304	120	$\frac{140}{8300}$	$\frac{160}{19300}$	

Закінчення табл. 1

1	2	3	4	5	6	7	8
16	ω_{16}	ст. Крути	2,115	80	<u>120</u> 2030	<u>140</u> 8345	
17	ω_{17}	пер. Крути–Пліски	19,090	120	<u>140</u> 9165	<u>160</u> 33065	
18	ω_{18}	ст. Пліски	1,957	100	<u>120</u> 3460	<u>140</u> 9500	
19	ω_{19}	Пліски–Черемушки	11,047	140	<u>140</u> 6595	<u>160</u> 6600	
20	ω_{20}	ст. Черемушки	1,686	100	<u>120</u> 2835	<u>140</u> 9260	
21	ω_{21}	пер. Черемушки–Бахмач-Київський	11,358	140	<u>140</u> 660	<u>160</u> 6600	
22	ω_{22}	ст. Бахмач-Київський	2,431	100	<u>100</u> 280	<u>120</u> 2060	
23	ω_{23}	Бахмач-Київський–Бахмач-Пасажирський	0,881	100	<u>100</u> 325		
24	ω_{24}	ст. Бахмач-Пасажирський	4,059	100	<u>100</u> 280	<u>120</u> 2350	
25	ω_{25}	Бахмач-Пасажирський–Халімонове	7,511	120	<u>140</u> 3910	<u>160</u> 10710	
26	ω_{26}	ст. Халімонове	3,034	80	<u>100</u>	<u>120</u> 2060	<u>140</u>
27	ω_{27}	Халімонове–Конотоп	9,234	120	<u>140</u>	<u>160</u> 4180	<u>10460</u>
28	ω_{28}	ст. Конотоп	3,266	40	<u>60</u> 2695		
29	ω_{29}	Конотоп–Вирівка	3,612		<u>100</u> 1365		
30	ω_{30}	ст. Вирівка	1,836	80	<u>100</u> 2730		
31	ω_{31}	пер. Вирівка–Мельня	10,460	100	<u>120</u> 4930		
32	ω_{32}	ст. Мельня	1,904	100	<u>120</u> 2530		
33	ω_{33}	Мельня–Алтинівка	8,597	120	<u>140</u> 3835	<u>160</u> 9036	
34	ω_{34}	ст. Алтинівка	1,880	90	<u>100</u> 1395	<u>120</u> 4160	
35	ω_{35}	Алтинівка–Кролівець	13,545	120	<u>140</u> 5905	<u>160</u> 7935	
36	ω_{36}	ст. Кролівець	1,725	100	<u>100</u> 210	<u>120</u> 430	
37	ω_{37}	Кролівець–Блюловецький	10,033	120	<u>140</u> 4630	<u>160</u> 17100	
38	ω_{38}	ст. Блюловецький	2,039	100	<u>120</u> 2525		
39	ω_{39}	Блюловецький–Воронізька	12,065	120	<u>140</u> 5350		

Примітка: у стовпцях 6, 7, 8 таблиці записані дробі: у чисельнику – швидкість, км/год, у знаменнику – витрати в гривнях.

2.3. Коротка характеристика програмного продукту. Програма розрахунків написана з використанням системи Maple V – система символічних обчислень.

Алгоритм, реалізований з використанням Maple V, містить такі основні елементи.

1. Вводиться число елементів M ; вектор N , компоненти якого представляють число варіантів бажаної швидкості по елементах; Z – матриця витрат по варіантах робіт на елементах шляху; T – матриця скорочення часу по елементах шляху (рядок) і варіантам робіт;

2. Організується перебір із кроком $\Delta\mu$ множника Лагранжа і визначається список $\gamma(\mu)$;

3. Кожен список упорядковується з використанням витрат на одиницю часу;

4. Будується залежності $C[\gamma(\mu)]$ і $\Delta t[\gamma(\mu)]$;

5. Виключається параметр μ і будується залежність $C = C(\Delta t)$ у вигляді неперервної кривої;

6. Для кожного непорівнянного варіанта $\gamma(\mu)$ в координатах C і Δt у вигляді точок знаходиться залежність $C(\Delta t)$.

2.4. Результати техніко-економічних розрахунків. На рис. 2 наведені результати обчислень, що відображають витрати в грн і скорочення часу руху поїзда залежно від множника Лагранжа μ .

Номерам точок відповідають варіанти реконструкції. Після розрахунку по кожному варіанту наведено три числа: множник Лагранжа μ , витрати по даному варіанту в грн і скорочення часу руху в годинах.

Виключивши параметр μ , одержимо залежність витрат від скорочення часу руху (рис. 3).

На рис. 2 і 3 наведені результати для ухвалення рішення. Задача вирішується як у прямій постановці, тобто виділяються кошти і для них установлюються скорочення часу руху поїзда або маршрутна швидкість, а також конкретні об'єкти, що підлягають реконструкції (станції, перегони). Можна навпаки, для заданого скорочення часу руху (маршрутну швидкість) знайти об'єкти, що підлягають реконструкції, і потрібні капітальні вкладення.

Припустимо, людина, що приймає рішення, може виділити на реконструкцію напрямку близько 200 млн грн. По рис. 3 можна установити, що скорочення часу складе близько 28 хв (0,45...0,46 год). На цьому ж рисунку зазначено два можливих варіанти № 13 або 14. За даними табл. 1 знаходимо номери об'єктів, що підлягають реконструкції, а також варіант максимальної швидкості і послідовність виконання робіт. За цими даними складена табл. 2.

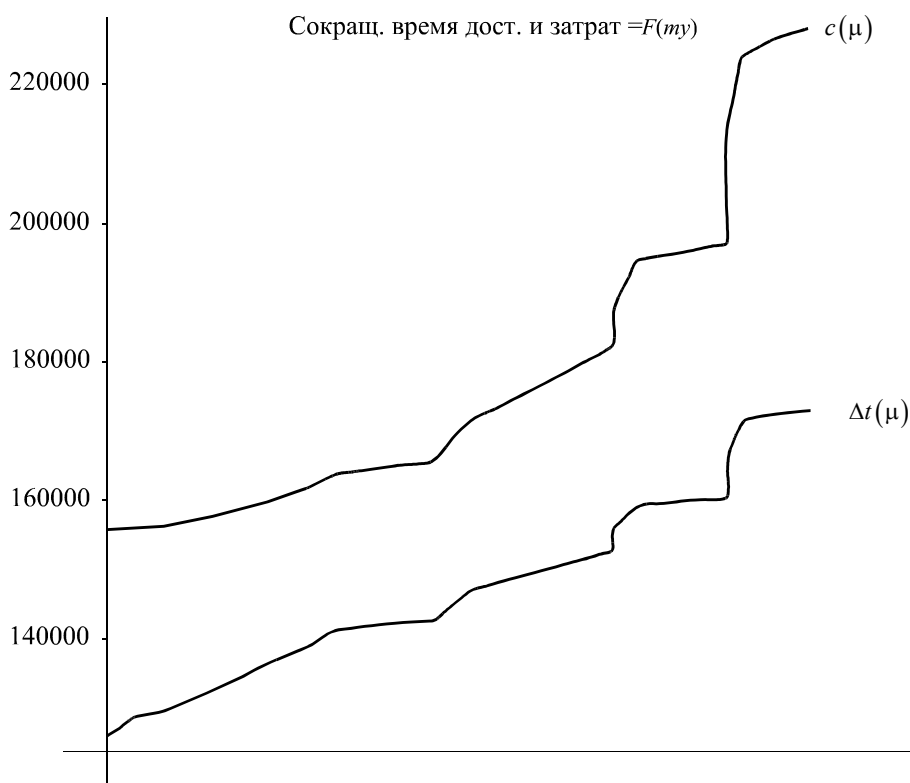


Рис. 2. Залежність витрат від скорочення часу руху

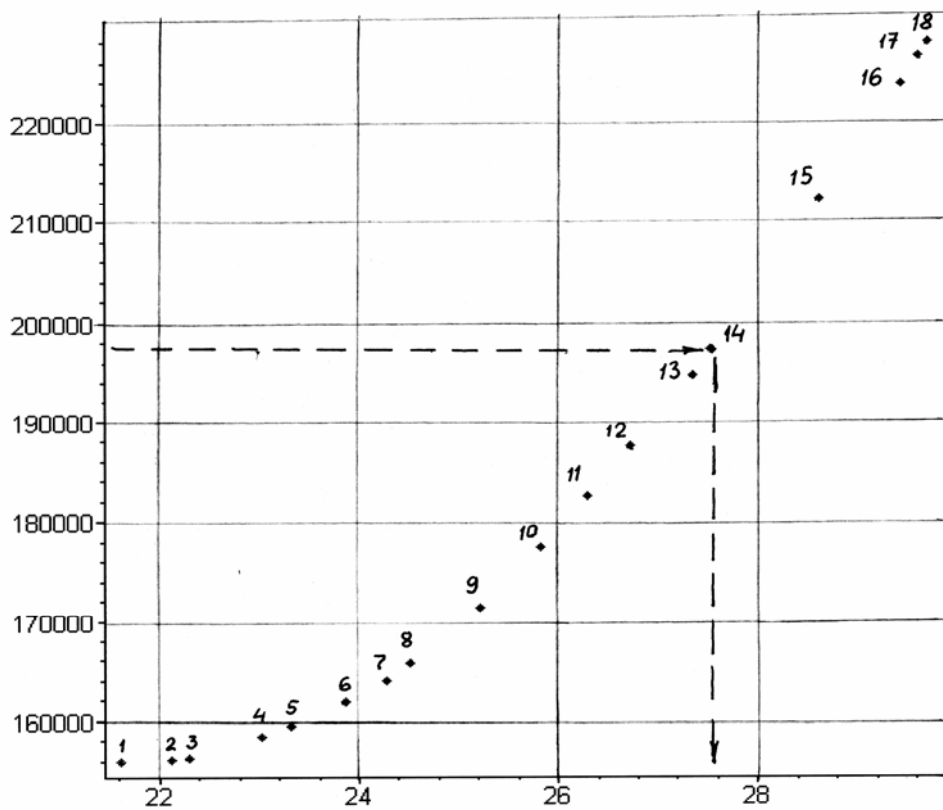


Рис. 3. Залежність витрат від скорочення часу руху

Таблиця 2

Номери об'єктів і послідовність виконання робіт з реконструкції

Номер	Позначення об'єкта	Назва об'єкта, який підлягає реконструкції	Номер варіанта і відповідний рівень максимальної швидкості	
			4	5
1	w_{15}	Ніжин–Крути	1	140
2	w_{26}	ст. Халімонове	2	120
3	w_{22}	ст. Бахмач-Київський	1	100
4	w_{18}	ст. Пліски	1	120
5	w_{19}	Пліски–Черемушки	1	140
6	w_{10}	ст Кобижчі	1	100
7	w_{28}	ст. Конотоп	1	60
8	w_{28}	Бахмач-Пасажирський–Халімонове	1	140
9	w_{29}	Конотоп–Вирівка	2	100
10	w_{37}	Кролевець–Брюловецький	1	140
11	w_{32}	ст. Мельня	2	120
12	w_{34}	ст. Алтинівка	2	110
13	w_{24}	ст. Бахмач-Пасажирський	1	100
14	w_5	ст. Бобрік	2	140

1	2	3	4	5
15	w_{17}	Крути–Пліски	1	140
16	w_7	Заворичі–Бобровиці	1	140
17	w_{14}	ст. Ніжин	1	100
18	w_{36}	ст. Кролевець	1	100
19	w_{39}	Брюловець–Воронізька	1	140
20	w_{35}	Алтинівка–Кролевець	1	140
21	w_{27}	Халімонове–Конотоп	2	160
22	w_{20}	ст. Черемушки	2	140
23	w_{38}	ст. Брюловецький	1	120
24	w_{11}	Кобижчи–Носівка	2	160
25	w_{16}	ст. Крути	1	120
26	w_4	ст. Халімонове	2	120
27	w_6	Бобрик–Заворичи	2	160
28	w_1	ст. Дарниця	1	100
29	w_3	ст. Бровари	1	120
30	w_{23}	Бахмач–Київський–Бахмач–Пасажирський	1	100
31	w_9	Бобровиці–Кобижчі	1	140
32	w_{33}	Мельня–Алтинівка	1	140
33	w_{21}	Черемушки–Бахмач Київський	2	160
34	w_{30}	ст. Вирівка	1	100
35	w_8	ст. Бобровиці	2	140
36	w_2	Дарниця–Бровари	2	160
37	w_{13}	Носівка–Ніжин	1	140
38	w_{31}	Вирівка–Мельня	1	120
39	w_{12}	ст. Носівка	1	100

Для кожного об'єкту ω_i складені набори робіт (модернізація колії, штучних споруд, перебудова кривих, пасажирських платформ тощо) відповідно з вимогами до інфраструктури та рухомого складу [8].

Висновки

Швидкісний рух на міжнародних транспортних коридорах України рекомендується

впроваджувати поетапно. При вирішенні цієї проблеми доцільно виходити з оптимізації часу доставки вантажів і пасажирів, а не швидкості руху, оскільки кінцевий результат перевезень визначається не максимальною, а маршрутною швидкістю.

Як показали розрахунки, на ділянці Київ–Зернове, де планується організація швидкісного руху, необхідно в першу чергу підвищувати не максимальні, а мінімальні швидкості, тому що

у зоні низьких рівнів швидкостей досягається найбільший ефект щодо скорочення часу руху.

Установлені за результатами розрахунків максимальні швидкості можуть бути досягнуті після проведення модернізації колії, заміни стрілочних переводів, а також після перебудови деяких кривих, що є бар'єрними місцями на перегонах.

При максимальній швидкості по станціях і перегонах 140 км/год і перебудові відповідних кривих скорочення часу складе 40 хв в кожному напрямку при ходовій швидкості 131 км/год. Це забезпечить у порівнянні з варіантом 120 км/год по станціях скорочення часу руху на напрямку Київ–Зернове додатково на 10 хв.

При забезпеченні на наступному етапі швидкості по станціях 140 км/год і на перегонах 160 км/год скорочення часу складе 47 хв у кожному напрямку і забезпечить середню ходову швидкість біля 150 км/год.

Максимальну швидкість 160 км/год на ухилах, крутизна яких не перевищує 7 ‰ для ЧС8 і 10 ‰ – для 2ДС3 для маси пасажирського поїзда 1000 т (18 вагонів). За такої крутизни уклонів для організації руху поїздів зі швидкістю до 200 км/год треба зменшити масу поїзда до 700...600 т.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Програма створення та функціонування національної мережі міжнародних транспортних коридорів в Україні / Постанова Кабінету Міністрів України від 20.03.98 № 346.
2. О результатах разработок предложений по созданию скоростных и высокоскоростных железнодорожных линий в странах-членах ОСЖД // Бюл. ОСЖД. 2000. – № 3. – С. 9–13.
3. Концепції державної цільової програми впровадження на залізницях швидкісного руху пасажирських поїздів на 2005–2015 р.р. – К., 2004. – 43 с. (проект).
4. Босов А. А. Вирішення задачі оптимальної перебудови ділянки для організації швидкісного руху поїздів / А. А. Босов, И. П. Корженевич, М. Б. Курган, Д. Н. Курган // Транспорт: 36. наук. пр. ДНТУ. – Д., 2002. – Вип. 12. – С. 43–49.
5. Курган М. Б. Розробка метода оптимальної перебудови ділянки залізниці для організації швидкісного руху поїздів // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д.: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2003. – Вип. 1. – С. 66–73.
6. Раціоналізація перебудови кривих в плані при підвищенні швидкостей руху поїздів / В. В. Рибкін, М. Б. Курган, Д. М. Курган, В. І. Харлан // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д.: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2003. – Вип. 2. – С. 120–126.
7. Босов А. А. Формирование вариантов рациональной сети линий высокоскоростного движения поездов в Украине / А. А. Босов, Г. Н. Кирпа. – Д.: Изд-во Днепрпетр. нац. ун-та железн.-дор. трансп. им. акад. В. Лазаряна, 2004. – 140 с.
8. Тимчасова інструкція з організації швидкісного руху пасажирських поїздів. Вимоги до інфраструктури та рухомого складу. ВНД 32.1.07.000-02. Укрзалізниця. К. – 51 с.

Надійшла до редколегії 10.08.2004.