

М. Б. КУРГАН¹ (ДНУЗТ), С. Ю. БАЙДАК (ДНУЗТ), Н. П. ХМЕЛЕВСЬКА (ДНУЗТ), Я. С. ХМЕЛЕВСЬКА (ДНУЗТ)

¹Каф. «Проектування і будівництво доріг», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел./факс +38 (056) 373 15 48, ел. пошта: kunibor@gmail.com, ORCID: orcid.org/0000-0002-8182-7709

ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧІ РІШЕННЯ ПРИ ПРОЕКТУВАННІ ЗАЛІЗНИЦЬ

Аналіз стану проблеми

Можливості підвищення енергоефективності залізничного транспорту далеко не вичерпані, і в даний час основним напрямком заходів щодо зниження споживання енергетичних ресурсів є вдосконалення конструкцій інфраструктури та рухомого складу, зменшення втрат на тягу поїздів, а також удосконалення методів проектування залізниць. Завдання заощадження енергії – комплексне, і повинно вирішуватись, починаючи зі стадії проектування і закінчуючи умовами експлуатації залізниці.

Одним із етапів енергозбереження є раціональне проектування траси залізниці. Роботи, присвячені проблемі економії енергоресурсів, проводилися за напрямками: оптимізація поздовжнього профілю, вибір раціональних режимів руху поїзда і умов експлуатації, але сама траса порівняно рідко служила предметом дослідження, особливо в частині, що стосується економічних питань. У різний час проблемою вибору оптимального обриса поздовжнього профілю і керівного ухилу займалися М. М. Протодьяконов, Г. Л. Аккерман, Б. М. Веденісов, А. І. Репрев, А. І. Іоаннісян, А. П. Кондратченко, І. В. Турбін, К. А. Оппенгейм, та ін. [1-11].

Мета роботи

В ході дослідження буде виявлено залежність економії електроенергії на тягу поїздів від ухилу поздовжнього профілю на ділянках поперечно-водороздільного ходу.

У роботі зроблена спроба встановити для різних керівних ухилів межі значень питомої ваги напруженого ходу траси за умови мінімуму енергетичних витрат на тягу поїздів і мінімуму експлуатаційних витрат. Отримані дані можуть служити орієнтиром для обґрунтування величини керівного ухилу залізниці, що проектується.

Методика дослідження

Методика дослідження полягає в застосуванні розробленої на кафедрі тягово-

експлуатаційної моделі. Така модель дозволяє виконувати тягові розрахунки і визначати експлуатаційні витрати пов'язані з рухом поїздів. В розрахунках використовуються дані щодо параметрів поздовжнього профілю, плану лінії, характеристики рухомого складу, рівень обмеження швидкості руху поїздів на станціях і перегонах. Через такі показники як механічна робота локомотива, робота сил опору, час руху поїзда й довжина ділянки визначаються експлуатаційні витрати на пробіг поїздів. Проводиться моніторинг використання електроенергії на тягу поїздів та аналіз отриманої інформації.

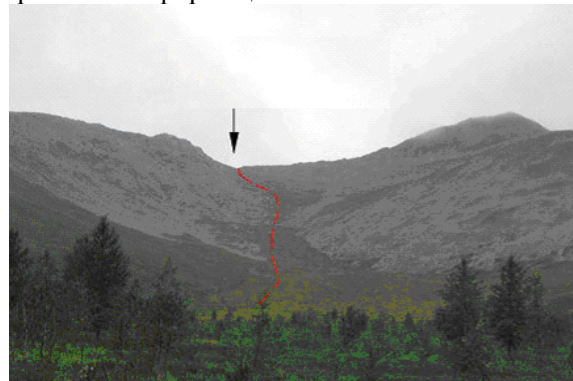


Рис. 1. Проходження траси через сідловину

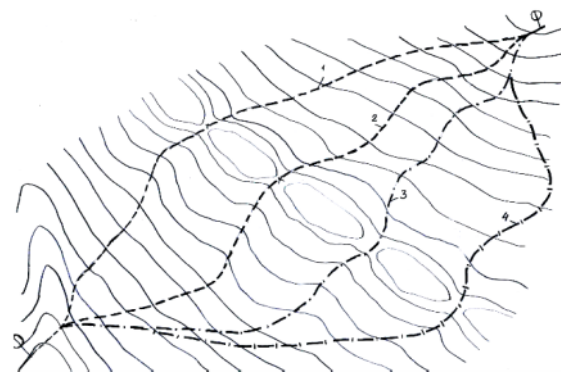


Рис. 2. Варіанти запроєктованих трас

При подоланні трасою значної висоти найбільша кількість енергії витрачається на ділянках затяжного підйому, де поїзд рухається зі сталою швидкістю рівною розрахунковій. При збереженні норми маси поїзда збільшення швидкості руху може бути досягнуто зменшенням обмежувального ухилу, що в свою

чергу може привести до економії енергії і, відповідно, експлуатаційних витрат в межах довжини зменшеного ухилу.

Траса залізниці може проходити через пониження між вершинами гірського хребта, що розташоване на лінії вододілу – сідловину (рис. 1).

Розглянемо декілька варіантів (рис. 2). Припустимо, що кожен варіант траси представляє собою поперечно-водороздільний хід і проходить через сідловину. Довжина запроєктованих варіантів буде різною, що пов'язано з керівним ухилом (i_p) проектування трас. У даному випадку розглянуто чотири варіанти з різними керівними ухилами: 1 – 12‰, 2 – 10‰, 3 – 8‰, 4 – 6‰.

Розглянемо випадок, коли відмітки на сідловинах, через які проходять траси 1-4, однакові (рис. 3).

Траса залізниці представляє собою ділянки напруженого ($L_{н.х.}$) і вільного ($L_{в.х.}$) ходів. У прикладі прийнято, що загальна довжина траси $L = 53,0$ км, $2L_{н.х.} = 40,0$ км (підйом і

спуск), а $L_{в.х.} = 13,0$ км. Таким чином, частка використання керівного ухилу в напрямку підйому складає близько 40%.

Якщо висота, що долається прокладеною трасою незмінна, то довжина залізниці зростає обернено пропорційно зменшенню ухилу, що призводить до відповідного подовження траси. Довжину напруженого ходу при зміні величини керівного ухилу можна визначити за формулою:

$$L_{н.х.} = \frac{H_2 - H_1}{i_p} = \frac{\Delta H}{i_p} \quad (1)$$

де H_2, H_1 – відмітки відповідно в кінці і на початку напруженого ходу.

Прийнято для всіх чотирьох варіантів трас (див. рис. 1) $\Delta H = 240$ м. Такий розрахунковий випадок позначимо як тип I.

Результати розрахунків параметрів трас по варіантам за формулою (1) наведено в табл. 1.

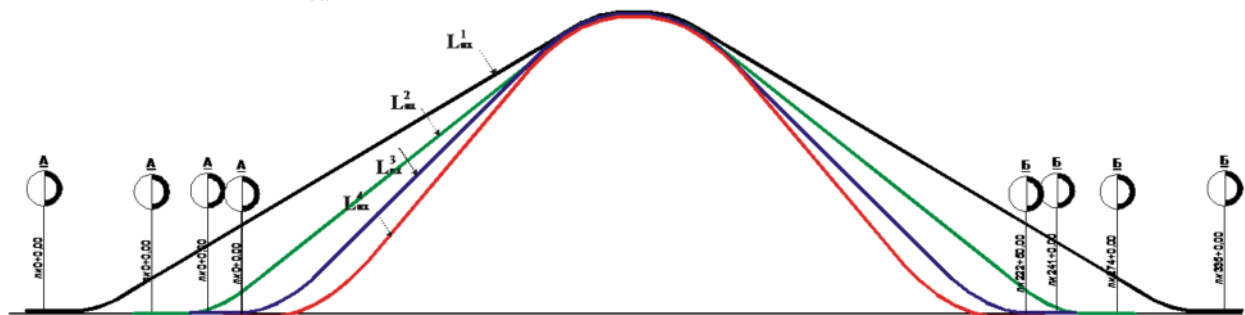


Рис. 3. Подовжній профіль з різними керівними ухилами і однаковою відміткою на сідловині

Таблиця 1

Показники траси (тип I)

Варіант	Керівний ухил, i_p , ‰	Довжина траси L , км	Довжина напруженого ходу $L_{н.х.}$, км	Частка напруженого ходу γ , %	Подовження траси λ
1	12	53,0	20,0	37,7	1,00
2	10	61,0	25,0	41,0	1,15
3	8	73,5	32,2	43,9	1,39
4	6	95,0	44,0	46,3	1,79

У розглянутому випадку зменшення ухилу подовжнього профілю (з 12 до 10, а потім до 8 і 6‰) призводить до відповідного подовження траси, що істотно збільшує витрати енергії (рис. 4).

В той же час, при зменшенні величини керівного ухилу збільшується маса рухомого

складу (формула 2) [12, 13] і зменшується потрібна кількість вантажних поїздів (формула 3) [14] для перевезення однакової для всіх варіантів кількості вантажів, млн. т/рік:

$$Q = \frac{F_{кр} - P(\omega' + i_p)}{(\omega'' + i_p)}, \quad (2)$$

де $F_{кр}$ – розрахункове значення сили тяги;

P – розрахункова маса локомотива;



Рис. 4. Витрати електроенергії на тягу поїздів

$$n_s = \frac{\Gamma \gamma 10^6}{365 Q \mu}, \quad (3)$$

де Γ – вантажопотік у вантажному напрямку нетто, млн. ткм/км;

γ – коефіцієнт місячної нерівномірності перевезень; орієнтовно $\gamma=1.1$;

Q – середня маса вантажних поїздів брутто, т;

ω'_o, ω''_o – основний питомий опір руху відповідно локомотива і вантажних вагонів.

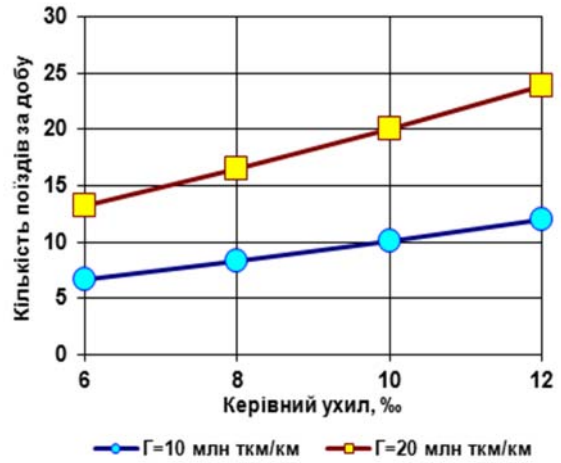


Рис. 5. Розміри вантажного руху за добу

μ – коефіцієнт, що дорівнює відношенню маси поїзда нетто до маси брутто; для середніх умов $\mu=0,65-0,70$.

На рис. 5, для наочності наведено зміну кількості вантажних поїздів в залежності від кривого ухилу для вантажнапруженості (Γ) 10 і 20 млн. ткм/км.

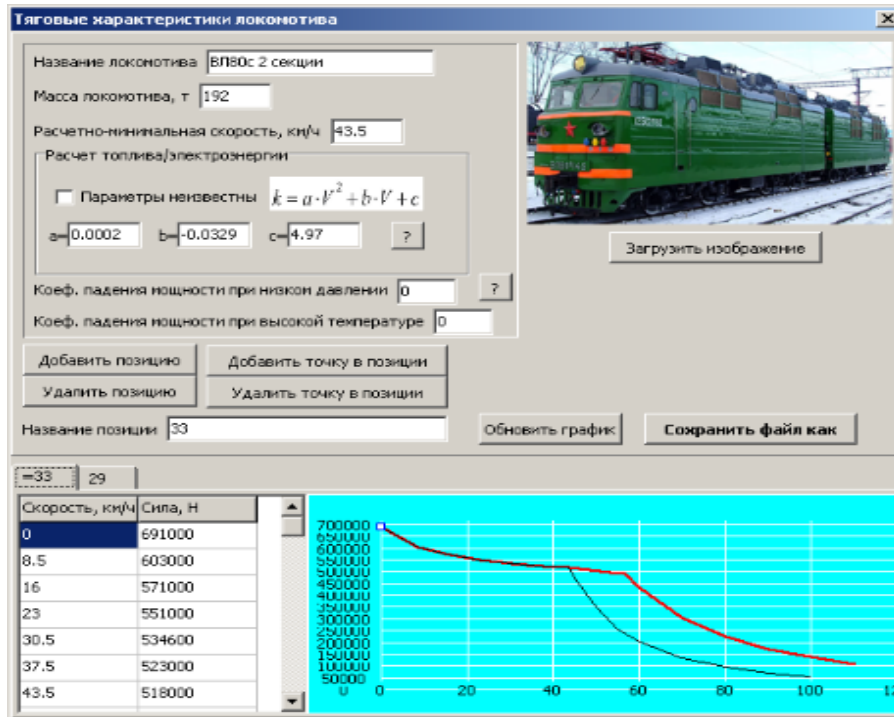


Рис. 6. Основні характеристики електровоза ВЛ80с

Варіантні тягові розрахунки виконані з використанням програми MoveRW (рис. 6).

Розрахункова маса рухомого складу (Q) визначена за формулою (2) і становить 3600 т,

4300 т, 5200 т та 6500 т відповідно для керівних ухилів $i_p=12\%$, $i_p=10\%$, $i_p=8\%$ та $i_p=6\%$.

Для кожного варіанту траси виконано тягові розрахунки та отримані криві швидкості руху поїздів і тягово-енергетичні показники (рис. 7).



Рис. 7. Крива швидкості руху вантажного поїзда: (лінії: зелена – поздовжній профіль, червона – кривизна колії, чорна – крива швидкості в тяговому режимі, жовта – регульоване гальмування)

За результатами розрахунків встановлено, що загальні витрати електроенергії від потоку вантажних поїздів для прийнятих вихідних даних зростають, як у функції від керівного ухилу (рис. 8), так і від коефіцієнта подовження траси в зв'язку з застосуванням більш пологого керівного ухилу (рис. 9).

З рис. 9 випливає, що застосування більш пологих керівних ухилів при частці напружених ходів 40-50% приводить до значного подовження траси і, як наслідок, до великих витрат електроенергії на тягу поїздів.

Дослідимо передумови, за яких буде досягнуто зменшення енергоресурсів. З цією метою проведено аналіз формул (4) і (5). З формули (4) встановлено фактори, які впливають на механічну роботу R_m і зв'язок цієї роботи з витратами електроенергії A .

При відомій силі тязі, що витрачається на тягу поїздів, можна визначити механічну роботу локомотива на ділянці довжиною L

$$R_m = \sum (F_{кр} L_{нх} + F_k L_{вх}) \quad (4)$$

Встановивши механічну роботу локомотива R_m і врахувавши коефіцієнт корисної дії електровоза η , визначаються витрати електроенергії на тягу поїзда [15]:

$$A = \frac{R_m}{\eta} \quad (5)$$

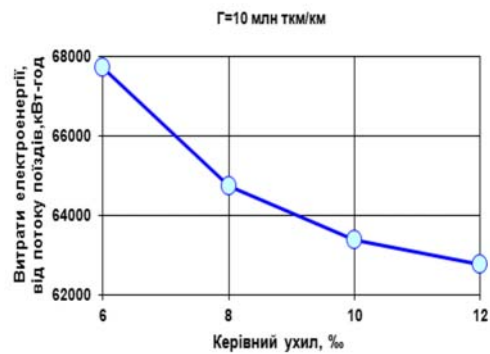


Рис. 8. Витрати електроенергії в залежності від керівного ухилу

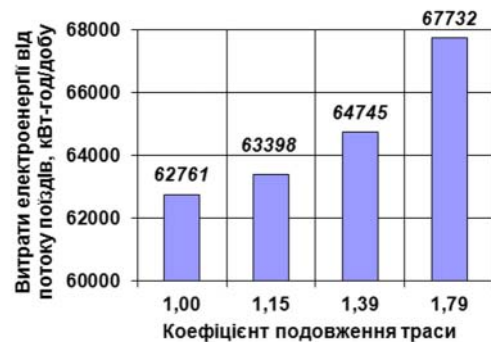


Рис. 9. Витрати електроенергії в залежності від довжини траси

В роботі авторів [16] було досліджено питання зміни енергоємності вантажного поїзда, що рухається на різних за крутизною підйомів ділянках залізниці. Розглянемо тягову характеристику електровоза ВЛ80с, що прийнятий в цьому дослідженні (рис. 10).

При розрахунковій швидкості $V_p = 43,5$ км/год сила тяги $F_{кр} = 51200$ кГс [13] для всіх варіантів трас незалежно від величини керівного ухилу. Це пояснюється тим, що маса рухомого складу (див. формулу 1) розрахована за умови руху поїзда зі сталою швидкістю на ділянці напруженого ходу. Таким чином, механічна робота локомотива й витрати електроенергії по варіантам залежать в основному від довжини напруженого ходу $L_{н.х.}$

Розглянемо декілька типів варіантів, у яких довжина напружених ходів зменшена (див. табл. 2-4).

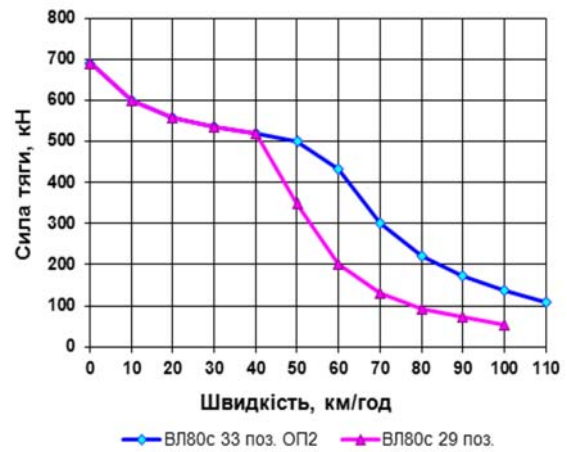


Рис. 10. Тягова характеристика електровоза ВЛ80с

Таблиця 2

Показники траси (тип II)

В-т	Керівний ухил, $i_{\delta}, \%$	Довжина траси L , км	Довжина напруженого ходу $L_{н.х.}$, км	Частка напруженого ходу γ , %	Подовження траси λ
1	12	32,5	30,0	30,0	1,00
2	10	36,4	34,5	34,9	1,12
3	8	42,8	39,5	39,5	1,32
4	6	54,0	43,5	43,5	1,66

Таблиця 3

Показники траси (тип III)

В-т	Керівний ухил, $i_{\delta}, \%$	Довжина траси L , км	Довжина напруженого ходу $L_{н.х.}$, км	Частка напруженого ходу γ , %	Подовження траси λ
1	12	22,3	4,6	20,8	1,00
2	10	24,1	6,5	27,2	1,08
3	8	27,4	9,2	33,6	1,23
4	6	33,5	13,3	39,6	1,51

Таблиця 4

Показники траси (тип IV)

В-т	Керівний ухил, $i_{\delta}, \%$	Довжина траси L , км	Довжина напруженого ходу $L_{н.х.}$, км	Частка напруженого ходу γ , %	Подовження траси λ
1	12	17,1	20,00	12,1	1,00
2	10	18,0	25,00	19,4	1,05
3	8	19,7	32,25	27,2	1,15
4	6	23,3	44,00	35,0	1,36

За даними табл. 1-4 побудовані графіки, які відповідають різним керівним ухилам (див. рис. 1), а кожний з чотирьох типів профілів відрізняється часткою напружених ходів (рис. 11).

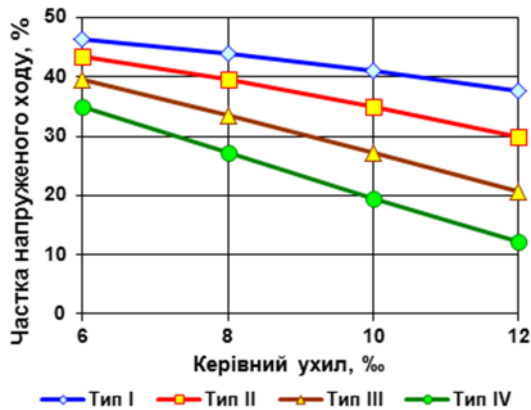


Рис. 11. Розрахункові типи поздовжніх профілів

Результати розрахунків для чотирьох варіантів керівних ухилів і чотирьох типів поздовжніх профілів (табл. 1-4, рис. 11) наведені на графіках, рис. 12-15.

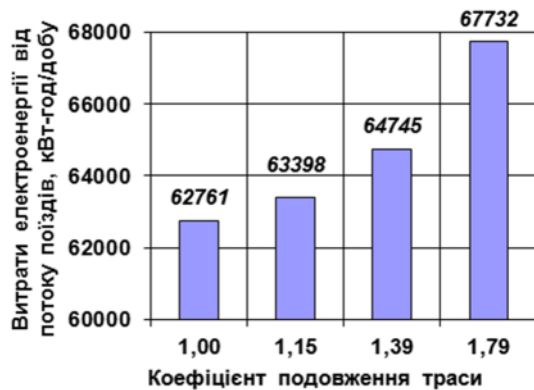


Рис. 12. Витрати електроенергії для профілю типу I

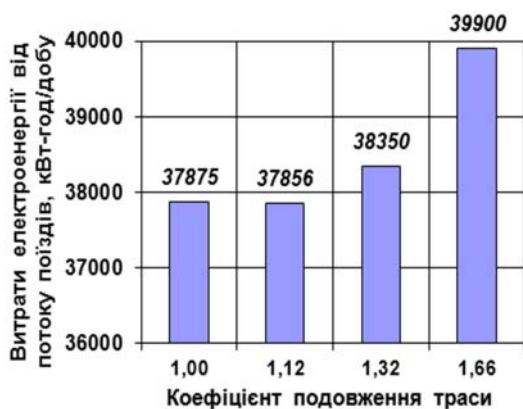


Рис. 13. Витрати електроенергії для профілю типу II

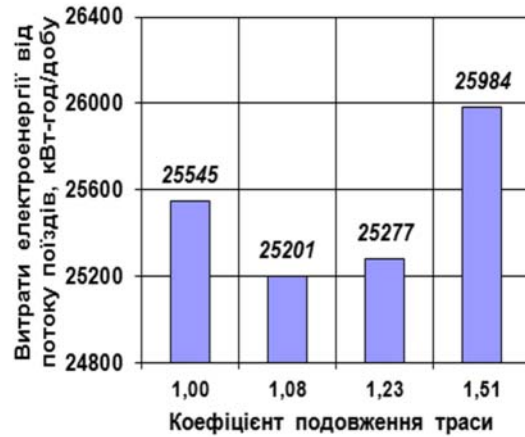


Рис. 14. Витрати електроенергії для профілю типу III

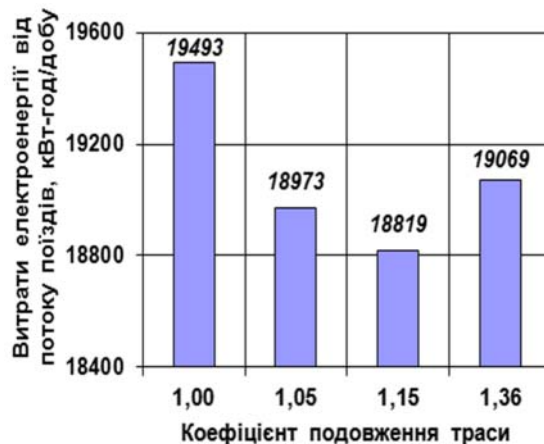


Рис. 15. Витрати електроенергії для профілю типу IV

Як випливає з аналізу рис. 12-15 на поперечно-водороздільних ходах з великою часткою напружених ходів (тип I, 40-50%) зменшення керівного ухилу не приводить до економії енергоресурсів (рис. 12). Економія електроенергії досягається при невеликому коефіцієнті подовження траси відносно варіанта з $i_p = 12\%$ ($\lambda \leq 1,10-1,15$), причому найбільша економія (до 5%) має місце на профілі типу IV з $i_p = 8\%$ (рис. 15).

Як було вище зазначено, розглядався найгірший випадок, коли відмітки на сідловинах однакові. Порівнюємо траси, які прокладено через різні сідловини (рис. 1) за умови, що при зменшенні керівного ухилу за рахунок подовження траси, перегинання сідловини відбувається на пониженій відмітці відносно початкового варіанта з $i_p = 12\%$ (рис. 16).

Як показали розрахунки, в таких випадках досягається значно більша економія електроенергії.

нергії на тягу поїздів (рис. 17-19), що слід приймати до уваги проєктувальникам при прокладанні траси на поперечно-водороздільних ходах.

При переході з $i_p=12\%$, на 8% (рис. 17), економія витрат електроенергії склала $3,7\%$.

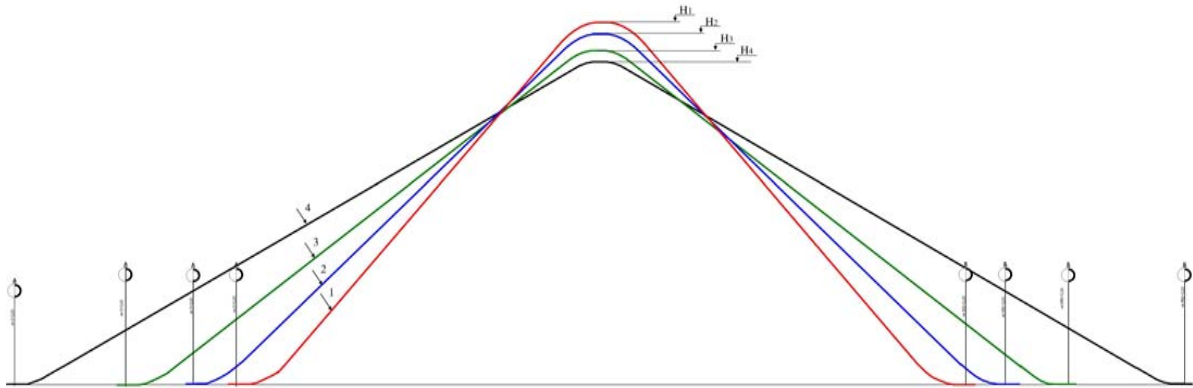


Рис. 16. Поздовжній профіль з різними керівними ухилами і різними відмітками на сідловині

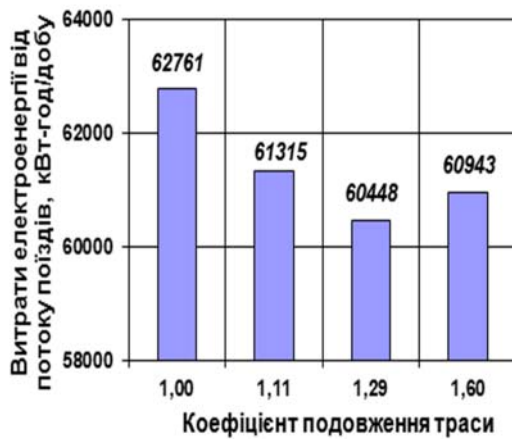


Рис. 17. Витрати електроенергії для профілю типу I при пониженні відмітки на кожній наступній сідловині на 10 метрів

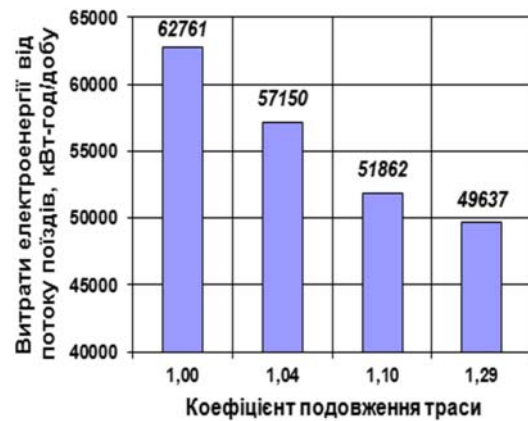


Рис. 19. Витрати електроенергії для профілю типу I при пониженні відмітки на кожній наступній сідловині на 30 метрів



Рис. 18. Витрати електроенергії для профілю типу I при пониженні відмітки на кожній наступній сідловині на 20 метрів

При переході з $i_p=12\%$, на 6% (рис. 18), економія витрат електроенергії склала $13,7\%$.

При переході з $i_p=12\%$, на 6% , (рис. 19) економія витрат електроенергії склала $20,9\%$.

Висновки

За результатами дослідження встановлено, по-перше, що економія енерговитрат має місце, якщо подовження траси на ділянці напруженого ходу при зменшенні ухилу не перевищує $10-15\%$, по-друге, витрати електроенергії при різних варіантах керівного ухилу залежать від співвідношення вільних і напружених ходів траси. Останнє можна пояснити таким: на напруженому ходу зменшення керівного ухилу, навіть при максимальному подовженні лінії, дає незначне збільшення витрат енергії, а на вільному ходу, навіть при незмінній його довжині, зменшення керівного ухилу дає значне

зменшення витрат електроенергії. При різних топографічних умовах скорочення довжини вільного ходу буде відбуватися в різній мірі.

Отже, передбачити економію енерговитрат можна ще на стадії проектування траси змен-

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Иоаннисян А. И. Влияние крутизны руководящего уклона на длину железнодорожной линии // Труды МИИТ. – М., – 1951. – Вып. 75. – С.119-121.
2. Репрев А. И. Влияние руководящего уклона на развитие линии и изменение объемов земляных работ с учетом современных строительных требований. Дисс. канд. техн. наук: 05.22.03. – М., 1952. – 240 с.
3. Веденисов Б. Н., Денисов П. К. Преодоление высоты с наименьшей затратой времени // Сб. трудов Академии наук СССР. – М., 1953. Вып. 1. – С.42-49.
4. Протодьяконов М. М. Проектирование продольного профиля железных дорог при электрической, тепловозной и паровой тяге с автосцепкой. М.: Трансжелдориздат, 1957. – 287 с.
5. Аккерман Г. Л. Проектирование оптимального профиля по критерию минимального расхода топлива или энергии на тягу поездов // Вопросы проектирования, строительства и содержания железнодорожного пути и сооружений в условиях Урала и Сибири: Меж. сб. науч. тр./ УЭМИИТ, Свердловск, 1979. Вып. 60. – С. 68-81.
6. Кондратченко А. П. Резервы экономии энергетических ресурсов при проектировании трассы железных дорог // Трансп.стр.-во.-1982,- № 8,- С.50-52.
7. Кантор И. И. Продольный профиль и тяга поездов. М.: Транспорт, 1984. – 207 с.
8. Блохин Е. П., Кантор И. И., Стамблер Е. Л., Урсуляк Л. В. Сопряжение элементов продольного профиля скоростных железных дорог. // Транспортное строительство, 1987. № 10. – С. 8-11.
9. Турбин И. В. Ресурсосберегающие решения при выборе ограничивающих уклонов новой линии и параметров проекта железных дорог // Сб. науч. тр. Ч.1. М., 1995. – С. 96-99.
- 10.1 Кантор И. И., Шаврина Е. В. Энергосберегающие решения при выборе параметров проектируемых железных дорог // Трансп. стр.-во. 1998. – № 8. – С. 13-14.
11. Проектирование продольного профиля на участках скоростного движения / Г. Н. Кирпа, И. П. Корженевич, Н. Б. Курган, Д. Н. Курган // Metody obliczeniowe i badawcze w rozwoju pojazdow samochodowych i maszyn roboczych samojednych. Materialy 10 konf. miedzynarodowej. – Rzeszow: Politechnika Rzeszowska im. Ignacego Lukasiewicza, 1999. – S. 73-78.
12. Правила тяговых расчетов для поездной работы. – М.: Транспорт, 1985. – 287 с.
13. Гребенюк П. Т. Тяговые расчеты: Справочник [Текст] / П. Т. Гребенюк, Долганов А. Н., Скворцова А. И. – М.: Транспорт, 1987. – 272 с.
14. Методические указания по сравнению вариантов проектных решений железнодорожных линий, станций и узлов. – М.: Оргтрансстрой, 1988. – 468 с.
15. Мутиштейн Л. А., Лохач А. В., Мерман И.

шнями ухилу поздовжнього профілю на ділянках напружених ходів при збереженні маси поїзда і відповідному збільшенні швидкості руху поїздів.

REFERENCES

1. Ioannisyanyan A. I. Vliyanie krutizny rukovodyashchego uklona na dlinu zheleznodorozhnoj linii. Trudy MIIT, 1951, issue 75, pp. 119-121.
2. Reprev A. I. Vliyanie rukovodyashchego uklona na razvitie linii i izmenenie ob'emov zemlyanykh rabot s uchetom sovremennykh stroitel'nykh trebovanij. Moskow, 1952, 240 p.
3. Vedenisov B. N., Denisov P. K. Preodolenie vysoty s naimen'shej zatratoy vremeni. Sbornik trudov Akademii nauk USSR, Moskow, 1953, issue 1, pp. 42-49.
4. Protod'yakonov M. M. Proektirovanie prodol'nogo profilya zheleznykh dorog pri ehlektricheskoy, teplovoznoj i parovoy tyage s avtoscepkoj. Moskow, Transzheldorizdat, 1957, 287 p.
5. Akkerman G. L. Proektirovanie optimal'nogo profilya po kriteriyu minimal'nogo raskhoda topliva ili ehnergii na tyagu poezdov. Voprosy proektirovaniya, stroitel'stva i sodержaniya zheleznodorozhnogo puti i sooruzhenij v usloviyah Urala i Sibiri: Sverdlovsk, 1979, issue 60, pp. 68-71.
6. Kondratchenko A. P. Rezervy ehkonomii ehnergeticheskikh resursov pri proektirovanii trassy zheleznykh dorog. Transportnoe stroitel'stvo, 1982, issue 8, pp. 50-52.
7. Kantor I. I. Prodol'nyj profil' i tyaga poezdov. Moskow, Transport, 1984, 207 p.
8. Blohin E. P., Kantor I. I., Stambler E. L., Ursulyak L. V. Sopryazhenie ehlementov prodol'nogo profilya skorostnykh zheleznykh dorog. Transportnoe stroitel'stvo, 1987, issue 10, pp. 8-11.
9. Turbin I. V. Resursosberegayushchie resheniya pri vybore ograniчивayushchih uklonov novoj linii i parametrov proekta zheleznykh dorog. Moskow, 1995, pp. 96-99.
10. Kantor I. I., Shavrina E. V. Energosberegayushchie resheniya pri vybore parametrov proektiruemykh zheleznykh dorog. Transportnoe stroitel'stvo, 1998, issue 8, pp. 13-14.
11. G. N. Kirpa, I. P. Korzhenevich, N. B. Kurgan, D. N. Kurgan. Proektirovanie prodol'nogo profilya na uchastkakh skorostnogo dvizheniya. Materialy 10 konf. miedzynarodowej. – Rzeszow: Politechnika Rzeszowska im. Ignacego Lukasiewicza, 1999. – S. 73-78.
12. Pravila tyagovykh raschetov dlya poezdnoy raboty. Moskow, Transport, 1985, 287 p.
13. Grebenyuk P. T. Tyagovyie raschety: Spravochnik. Moskow, Transport, 1987, 272 p.
14. Metodicheskie ukazaniya po sravneniyu variantov proektnykh reshenij zheleznodorozhnykh linii, stancij i uzlov. Moskow, Orgtransstroj, 1988, 468 p.
15. Mutinshtejn L. A., Lohach A. V., Merman I. I., Vinogradov S. A., Vinogradova T. V. Metod postoyannykh peregonnykh skorostej dlya ocenki energozatrat na tyagu poezdov. Vestnik VNIIZHT, 2000, issue 4, pp.

И., Виноградов С. А., Виноградова Т. В. Метод постоянных перегонных скоростей для оценки энергозатрат на тягу поездов / Вестник ВНИИЖТ. – 2000, № 4. – С. 16-19.

16. Курган М. Б. Ефективність впровадження нових типів електровозів [Текст] / М. Б. Курган, Н. П. Хмелевська, С. Ю. Байдак / Електрифікація транспорту – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2014. – Вип. 8. – С. 93-98.

16-19.

16. Kurhan M. B., Khmelevska N. P., Baidak S. Yu. Efektyvnist' vprovadzhennya novykh typiv elektrovoziv. Scientific journal Electrification of transport. Dnipropetrovs'kyi Natsional'nyi Universytet Zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana, 2014, issue 8, pp. 93-98.

Надійшла до друку 08.05.2017.

Внутрішній рецензент *Кузнецов В. Г.*

Зовнішній рецензент *Андрієнко П. Д.*

В статті надано пропозиції щодо прокладання траси на ділянках зтяжних підйомів і спусків з метою скорочення витрат електроенергії на тягу поїздів. Для досягнення мети визначено основні тягово-енергетичні показники для різних варіантів поздовжнього профілю. За результатами розрахунків встановлено умови, за яких досягається мінімум енергетичних й експлуатаційних витрат. Отримані дані можуть служити орієнтиром для обґрунтування величини керівного ухилу залізниці, що проектується.

Ключові слова: рухомий склад; тягова характеристика; траса залізниці; поздовжній профіль; витрати електроенергії; проектні рішення.

УДК 625.113

Н. Б. КУРГАН¹ (ДНУЖТ), С. Ю. БАЙДАК (ДНУЖТ), Н. П. ХМЕЛЕВСКАЯ (ДНУЖТ), Я. С. ХМЕЛЕВСКАЯ (ДНУЖТ)

¹Каф. «Проектирование и строительство дорог», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепр, Украина, 49010, тел./факс +38 (056) 373 15 48, эл. почта: kunibor@gmail.com, ORCID: orcid.org/0000-0002-8182-7709

ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ РЕШЕНИЯ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

В статье даны предложения по прокладке трассы на участках зтяжных подъемов и спусков с целью сокращения расходов электроэнергии на тягу поездов. Определены основные тягово-энергетические показатели для различных вариантов продольного профиля. По результатам расчетов установлены условия, при которых достигается минимум энергетических и эксплуатационных расходов. Полученные данные могут служить ориентиром для обоснования величины руководящего уклона проектируемых железных дорог.

Ключевые слова: подвижной состав; тяговая характеристика; трасса железной дороги; продольный профиль; расходы электроэнергии; проектные решения.

Внутренний рецензент *Кузнецов В. Г.*

Внешний рецензент *Андрієнко П. Д.*

UDC 625.113

M. B. KURHAN¹ (DNURT), S. Yu. BAIDAK (DNURT), N. P. KHMELEVSKA (DNURT), Y. S. KHMELEVSKA (DNURT)

¹Dep. «Engineering And Construction Of Roads», Dnipropetrovsk National University Of Railway Transport Named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St, 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, Tel./Fax +38 (056) 373 15, e-mail: kunibor@mail.ru, ORCID: orcid.org/0000-0002-8182-7709

ENERGY SAVING SOLUTIONS FOR DESIGNING RAILWAYS

Proposals have been made for laying the route in areas of prolonged ascent and descent to reduce electricity consumption. The main traction-energy indicators are determined. Conditions have been set for reducing energy and operating costs. The results can be used in the design of railways.

Keywords: rolling stock; traction characteristics; railway track; longitudinal profile; electricity costs; design solutions.

Internal reviewer *Kuznetsov V. G.*

External reviewer *Andrienko P. D.*