

В. Г. СИЧЕНКО, Д. О. БОСИЙ, В. В. БОЖКО, Є. М. КОСАРЕВ, Ю. А. БОРИСОВСЬКА,  
Я. П. ЩЕРБАК, Б. О. БОРЩ (ДНУЗТ)

Кафедра Електропостачання залізниць, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені акад. В. Лазаряна, вул. Лазаряна 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел.: (056) 793-19-11, ел. пошта: [elpostz@i.ua](mailto:elpostz@i.ua)

## ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ДЛЯ ШВИДКІСНИХ МАГІСТРАЛЕЙ

### Вступ

У розвитку високошвидкісного залізничного транспорту спостерігаються ціла низка тенденцій, серед яких можна виділити [1]:

- розширення мережі електрифікованих високошвидкісних магістралей;
- збільшення сумарної тягової потужності тривалого режиму руху поїздів;
- застосування безколекторних тягових двигунів і напівпровідникової силової елементної бази нового покоління, зниження питомого енергоспоживання;
- застосування струмоприймачів, закритих шумоподавляючими обтічниками.

Сучасний стан електрифікованих залізниць обумовлюється необхідністю забезпечення конкурентоспроможності з іншими видами транспорту, як при перевезенні пасажирів, так і при доставці вантажів. Разом з відомими перевагами електрифікованих залізниць необхідно також забезпечувати високий рівень комфортності і швидкості доставки. Вирішення цих завдань і зумовлює впровадження швидкісного і високошвидкісного пасажирського транспорту, а також великовагового руху потягів.

Як відомо, загальні вимоги до систем тягового електропостачання швидкісних магістралей (СТЕ) полягають у: забезпеченні надійного струмознімання і заданої якості електричної енергії при живленні швидкісного електрорухомого складу. Пристрої тягового електропостачання також не повинні обмежувати максимальні швидкості руху нижче прийнятого на ділянці рівня. Встановлення максимальних швидкостей руху швидкісних потягів по окремих конкретних ділянках і перегонах існуючих магістралей здійснюється в результаті комплексної оцінки умов допустимих швидкостей руху за станом колії і нормативам взаємодії з нею рухомого складу [2].

Досвід експлуатації існуючих систем електричної тяги показує, що швидкісний рух до 250 км/год забезпечують різноманітні системи тягового електропостачання, як постійного, так і

змінного струму без будь-яких обмежень. Розвиток і становлення кожної з цих систем обумовлювалися рівнем науково-технічного прогресу на певний період часу. При цьому необхідно відзначити, що система постійного струму з моменту своєї появи фактично не змінювалася структурно, а змінювалися, в основному, елементна база і вживане устаткування. Система змінного струму, навпаки, з самого початку свого застосування постійно піддається різного роду удосконаленням і поліпшенням. Можна констатувати, що, не зважаючи на задекларовані переваги і переважає нині застосування системи змінного струму, досвід її експлуатації доводить, що, в цілому, вона вже не відповідає сучасним вимогам. За усі роки експлуатації і постійної модернізації так і не були усунені основні недоліки цієї системи: небезпечний електромагнітний вплив, несиметричне завантаження фаз, значні об'єми транзиту реактивної енергії та інші [3].

Звичайно, наукові дискусії відносно того, яка система електрифікації краща, ведуться давно, але детального і комплексного порівняльного аналізу донині не виконано. Проте, при проведенні такого аналізу потрібно приймати до уваги, що передбачувані переваги впровадження системи змінного струму, а саме: зниження витрати електроенергії за рахунок зменшення втрат в контактній мережі, скорочення капітальних витрат за рахунок зменшення числа тягових підстанцій, зниження витрат міді за рахунок зменшення перерізу контактної підвіски не виправдалися, наприклад, в умовах Росії [4]. Як показують дослідження, виконані в Європі, переведення електрифікованих ділянок постійного струму при впровадженні швидкісного руху на змінний з урахуванням очікуваного співвідношення витрат і корисного ефекту не має достатніх підстав [5]. Звідси, перехід від системи постійного струму на змінний повинен бути зважено технологічним і доцільно обґрунтованим, що і показав досвід впровадження швидкісного руху на ділянці Москва-Санкт-

Петербург [6]. В той же час, як показує аналіз доступної науково-технічної літератури для живлення швидкісних магістралей зараз переважає застосування тяги змінного струму, як в Європі, так і в Азії. Такий підхід закріплений і в Пам'ятці [7], в якій наведені норми напруги для швидкостей 250 км/год і більше тільки для системи змінного струму. Для удосконалення якості передачі енергії при швидкісному русі залізниць Франції, Японії і Росії використовується також система з автотрансформаторами 2х25 кВ. Пошук шляхів комплексного усунення апіорі наявних недоліків системи електропостачання змінного струму має бути спрямований на забезпечення симетричного розподілу тягового навантаження по фазах трансформаторів підстанції і трифазної мережі, від якої вони отримують живлення, але, як показують останні дослідження [8], це завдання до цього часу не вирішене.

Сучасність науково-технічного прогресу обумовлена бурхливим розвитком силової електроніки і комп'ютерних технологій. Вдосконалення системи електричної тяги і перспективи її розвитку зумовлені безповоротним процесом оновлення усієї системи перетворення енергії, що витрачається на перевізний процес. Застосування перетворювачів постійного струму в трифазний змінний струм, тиристорних перетворювачів рівня напруги постійного струму, створення високоекономічних алгоритмів комп'ютерного управління перетворенням електроенергії, заміна колекторних двигунів постійного струму на безколекторні асинхронні трифазного струму, складають основний напрям технічного переозброєння систем електричної тяги і нині широко використовуються у ряді промислово розвинених країн. У зв'язку з цим залишається актуальним пошук рішень подальшого підвищення рівня напруги в тяговій мережі постійного струму до 12, 18, 24 кВ [3, 4, 9], тобто створення більш ефективної системи електропостачання постійного струму. Підвищення рівня напруги стає можливим за рахунок застосування і широкого впровадження перспективних видів електрорухомого складу з імпульсними тиристорними перетворювачами, що дозволяють виключити жорсткий зв'язок між напругою в тяговій мережі постійного струму і на тяговому двигуні. При цьому електрорухомий склад розробляється на основі безколекторних тягових двигунів

трифазного струму з живленням від контактної мережі постійного струму за допомогою автономних інверторів. На вході інвертора включається тиристорний перетворювач, що забезпечує узгодження з контактною мережею по рівню напруги.

Різко підвищити пропускну спроможність і ефективність електричної тяги постійного струму дозволяє рівень напруги в контактній мережі постійного струму 24 кВ: значно збільшити відстань між підстанціями, зменшити переріз дротів тягової мережі, зменшити втрати електроенергії в пристроях електропостачання, повністю усунути несиметрію живлячої напруги. Усе це і відсутність індуктивних втрат на постійному струмі може перевищити по ефективності усі системи змінного струму. Саме тому відбувається поступова еволюція підходів до електрифікації швидкісних магістралей на змінному струмі до переходу на більш досконалу систему постійного струму 24 кВ [3, 10].

### Мета роботи

Приймаючи до уваги вищерозглянуте необхідно оцінити напрямки підвищення якості функціонування тягового електропостачання при застосуванні системи постійного струму підвищеної напруги. Оскільки комплексний порівняльний аналіз різних систем електричної тяги представляє складне завдання, в статті виконаний аналіз енергетичних показників споживання електричної енергії в існуючих нині системах та пропонованій системі 24 кВ, що дозволить точніше і більш зважено підходити до вибору системи електричної тяги при впровадженні швидкісного та високошвидкісного руху, а також формуванні технічної політики при розвитку електрифікованих залізниць.

### Методика розрахунку

Розрахунок централізованих систем тягового електропостачання постійного та змінного струму проводився за допомогою методики розрахунку миттєвих схем з використанням аналітичних функцій опору [11]. Відповідно до даної методики необхідно визначити функцію опору (1-2) для схеми живлення кожної міжпідстанційної зони, яка фізично визначає закономірність зміни опору для даної схеми.

Для вузлової схеми живлення:

$$f(x) = r_0 \times \begin{cases} x - \left(\frac{L+L_C}{2LL_C}\right)x^2, & 0 \leq x \leq L_C; \\ \frac{L\left(x - \frac{L_C}{2}\right) - \left(L - \frac{L_C}{2}\right)x^2}{L - L_C - \frac{L(L-L_C)}{L(L-L_C)}}, & L_C \leq x \leq L. \end{cases} \quad (1)$$

Для схеми живлення з повним паралельним з'єднанням проводів контактної мережі двох колій:

$$f(x) = r_0 \times \begin{cases} x - \frac{x^2}{2L} - \frac{x^2}{2L_{C1}}, & 0 \leq x \leq L_{C1}; \\ \frac{x^2 - 2L_Cx + L_CL_{C1}}{2L_C - 2L_{C1}} - \frac{L_Cx^2 - L_{C1}x^2}{2L(L_C - L_{C1})}, & L_{C1} \leq x \leq L_C; \\ \frac{x^2 - 2L_{C2}x + L_CL_{C2}}{2L_C - 2L_{C2}} - \frac{L_Cx^2 - L_{C2}x^2}{2L(L_C - L_{C2})}, & L_C \leq x \leq L_{C2}; \\ -\frac{(L-x) \cdot (LL_{C2} - 2Lx + L_{C2}x)}{2L(L - L_{C2})}, & L_{C2} \leq x \leq L. \end{cases} \quad (2)$$

де  $r_0$  – питомий опір тягової мережі;  
 $L$  – відстань між тяговими підстанціями;  
 $L_{C1}$  – відстань до першого ППС;  
 $L_C$  – відстань до ПСК;  
 $L_{C2}$  – відстань до другого ППС.

При необхідності споживання заданої потужності в довільній точці тягової мережі струм електровоза буде збільшуватись на величину, що визначає необхідні для передачі цієї потужності втрати, відносно струму, визначеного для номінальної напруги. Таким чином, при споживанні постійної потужності в будь-якій точці тягової мережі, необхідно розрахувати струм електрорухомого складу (ЕРС) (3).

$$I(x) = \frac{U_{III} - \sqrt{U_{III}^2 - 4f(x)P}}{2f(x)} \quad (3)$$

де  $U_{III}$  – напруга на шинах тягової підстанції;

$f(x)$  - функція опору;

$P$  – потужність ЕРС.

Для визначення напруги на струмоприймачі скористаємось формулою (4), в якій добуток

струму ЕРС та функції опору визначає втрати напруги в тяговій мережі.

$$U_e(x) = U_{III} - I(x) \cdot f(x) \quad (4)$$

За отриманими формулами функцій опору  $f(x)$  можна визначити втрати потужності в контактній мережі, як добуток квадрату струму електровоза на відповідну функцію опору, тобто:

$$\Delta P = I(x)^2 \cdot f(x). \quad (5)$$

Для розрахунку автотрансформаторної системи тягового електропостачання змінного струму 2×25 кВ використовувалась методика розрахунку розподілених систем живлення. Згідно з даною методикою необхідно визначити функцію опору, враховуючи внутрішній опір тягових підстанцій та лінійних автотрансформаторів. Стосовно до прийнятої розрахункової ділянки, опір кожної ланки між тяговою підстанцією та найближчим автотрансформатором або між сусідніми автотрансформаторами, може бути виражений універсальною формулою:

$$R_i(x) = \begin{cases} \rho + r_0 \cdot ((i-1)L - x), & 0 \leq x \leq (i-1)L; \\ \rho + r_0 \cdot (x - (i-1)L), & (i-1)L \leq x \leq (N-1)L. \end{cases} \quad (6)$$

де  $\rho$  – еквівалентний внутрішній опір тягової підстанції/автотрансформатора;

$N$  – загальна кількість тягових підстанцій та лінійних автотрансформаторів на розрахунковій ділянці.

Для випадку ряду тягових підстанцій та автотрансформаторів загальна функція опору  $f(x)$  визначається як результуючий опір усіх ланок схеми заміщення для даної координати  $x$ , а саме:

$$f(x) = \frac{1}{\sum_{i=1}^N \frac{1}{R_i(x)}} \quad (7)$$

Для випадку стабілізації електрорухомим складом споживаної потужності використовується формула (3). Визначення напруги на струмоприймачі ЕРС та втрат потужності виконується відповідно до формул (4) та (5).

Слід зауважити, що для спрощення розрахунків, напруга на шинах тягових підстанцій приймалась однакою і рівною номінальному значенню для відповідної системи тягового

електропостачання. Розрахунки проводились за умови руху ЕРС в режимі тяги, з усталеною швидкістю без урахування розгону, вибігу та гальмування. Профіль та план колії приймався прямолінійним. При цьому до уваги приймалось, що швидкісні поїзди внаслідок великого опору руху споживають максимальний струм незалежно від профілю практично весь час руху по ділянці [12]. Для системи змінного струму 2×25 відстань між автотрансформаторами приймалась однакою. При розрахунках енергетичних показників порівнюваних систем тягового електропостачання враховувались однакові показники споживаної потужності при різних рівнях живлячої напруги сучасним швидкісним електрорухомим складом [13-15]. До розгляду приймалась реальна ділянка електрифікованої залізниці постійного струму.

**Розрахункові схеми для порівняльного аналізу**

**1. Система тягового електропостачання постійного струму 3 кВ.**

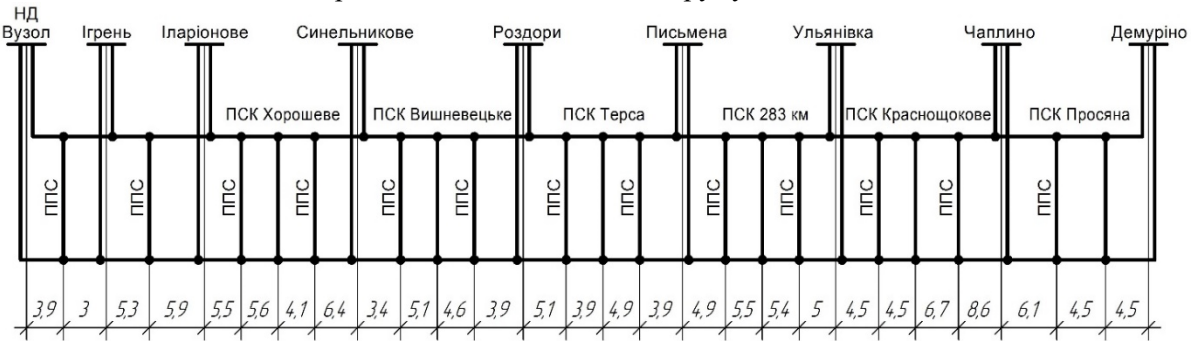


Рис. 1. Розрахункова схема постійного струму 3 кВ

Напруга на шинах тягових підстанцій: 3300 В; Тип тягової мережі: М120+2МФ-100+А185+Р65.

**2. Система тягового електропостачання змінного струму 25 кВ**

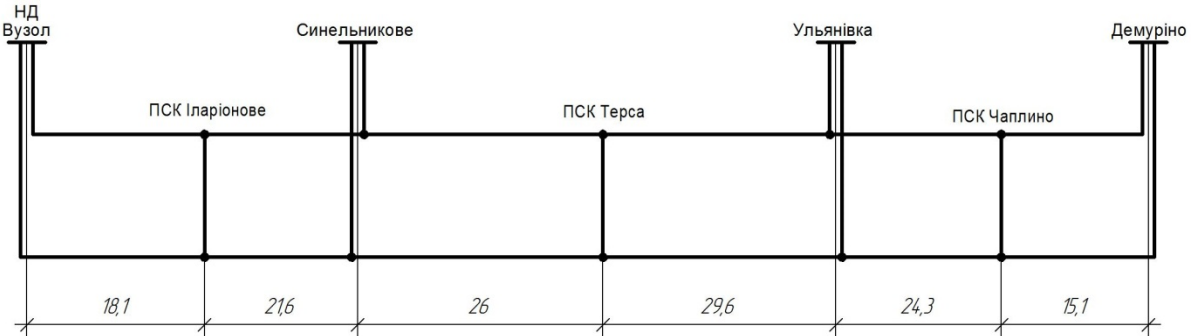


Рис. 2. Розрахункова схема змінного струму 25 кВ

Напруга на шинах тягових підстанцій: 27500 В; Тип тягової мережі: ПБСМ95+МФ-100+Р65.

**3. Система тягового електропостачання змінного струму 2×25 кВ**

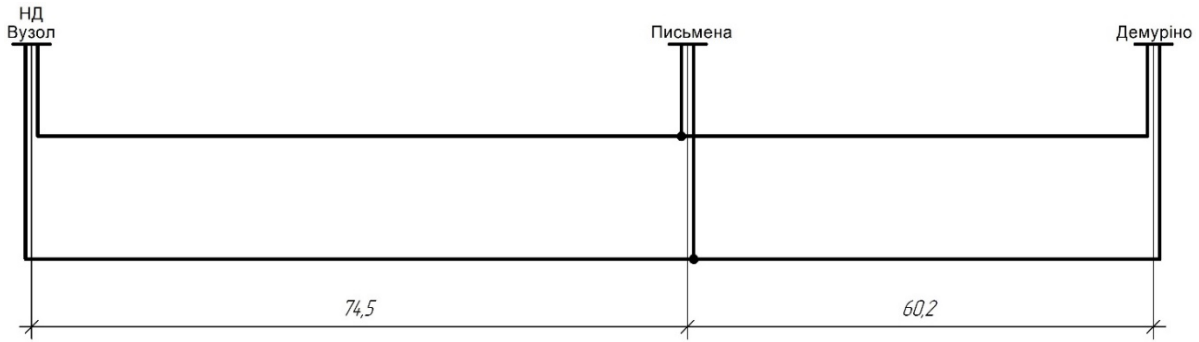


Рис. 3. Розрахункова схема змінного струму 2×25 кВ

Напряга холостого ходу тягових підстанцій: 27600 В; Тип тягової мережі: ПБСМ95+МФ-100+А185+Р65; Тип тягових трансформаторів: ОРДНЖ-16000/110-76 У1; Тип автотрансформаторів: АОМНЖ-10000/55-76 У1; Відстань між автотрансформаторами: 13,5 км.

4. Система тягового електропостачання постійного струму 24 кВ

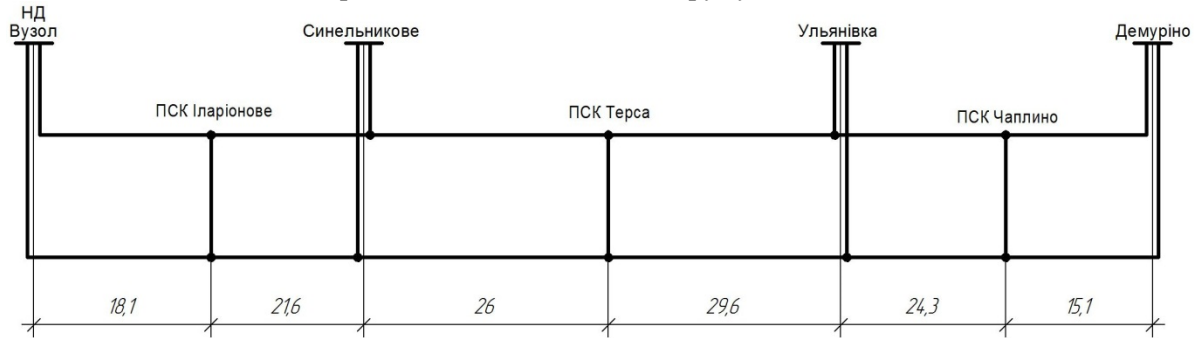
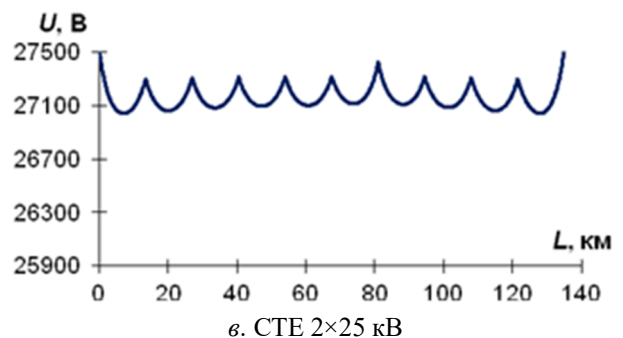
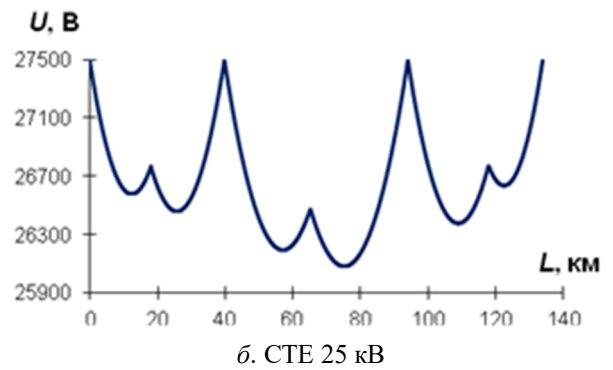
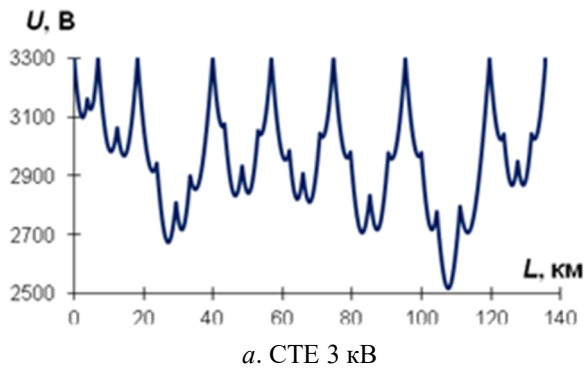


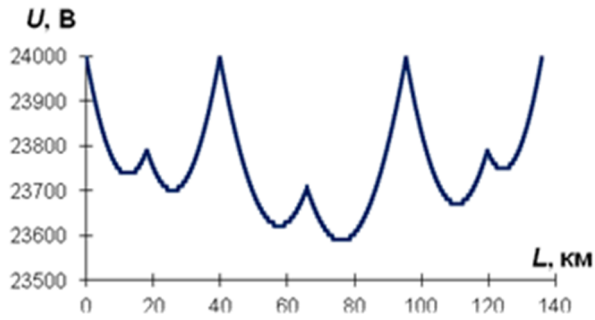
Рис. 4. Розрахункова схема постійного струму 24 кВ

Напряга на шинах тягових підстанцій: 24000 В; Тип тягової мережі: М95+МФ-100+Р65.

Результати розрахунків

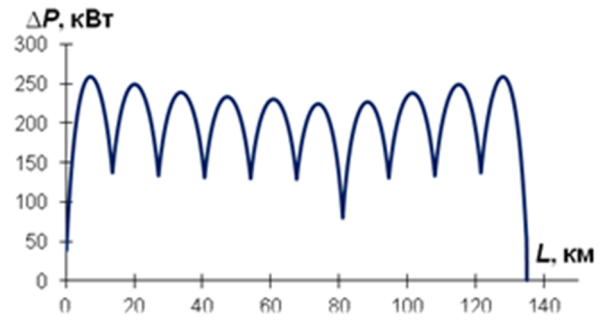
За результатами розрахунків для напрямку слідування НД Вузол – Демурино побудовані графіки напруги на струмоприймачі ЕРС (рис. 5) та миттєвих втрат потужності за час руху розрахунковою зоною (рис. 6). Результати розрахунків зведені у таблицю 1.



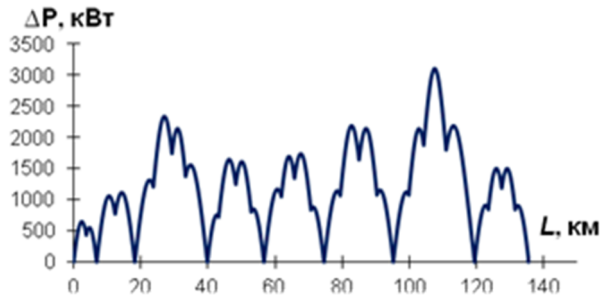


г. СТЕ 24 кВ

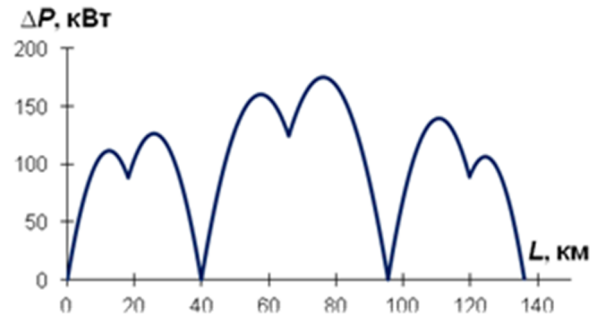
Рис. 5. Напряга на струмоприймачі ЕРС



в. СТЕ 2x25 кВ

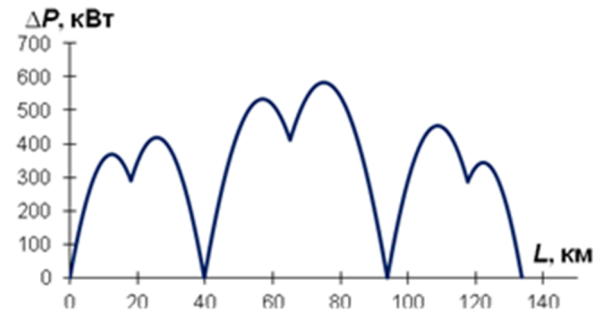


а. СТЕ 3 кВ



г. СТЕ 24 кВ

Рис. 6. Втрати потужності



б. СТЕ 25 кВ

Таблиця 1

**Результати порівняльних розрахунків систем тягового електропостачання**

Рід струму	Постійний струм				Змінний струм			
	3 кВ		24 кВ		25 кВ		2x25 кВ	
Параметр	U, В	ΔU, В	U, В	ΔU, В	U, В	ΔU, В	U, В	ΔU, В
M	2956,0	344,0	23752,9	247,3	26646,8	949,7	27156,7	343,3
min	2515	0	23580	0	26080	0	27040	0
max	3300	785	24000	420	27500	1420	27500	460
ΔP <sub>сер</sub> , кВт	1204,3		104,3		342,7		204,6	

**Висновки**

При прийнятих умовах за результатами проведених розрахунків можна вказати на наступне:

- Система тягового електропостачання постійного струму 24 кВ має кращі показники по режиму напруги в тяговій мережі;

- Система тягового електропостачання постійного струму 24 кВ забезпечує найменші втрати потужності в тяговій мережі.

Сучасний етап розвитку силової електроніки та комп'ютерних технологій ставлять актуальне питання щодо технічної перебудови систем тягового електропостачання та електрорухомого складу. Для побудови високошвидкісних магістралей зі швидкістю руху 400 км/год найбільш перспективною є система електропостачання постійного струму 24 кВ розподіленого типу.

При впровадженні швидкісного та високошвидкісного руху, а також формуванні технічної політики для розвитку систем електропостачання електрифікованих залізниць необхідне

проведення комплексного техніко-економічного аналізу з урахуванням сучасних

досягнень науки та розвитку техніки.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Блохін Є.П. Високошвидкісний наземний транспорт світу [Текст]: підручник / Є.П. Блохін, О.М. Пшінько. - Дніпропетровськ: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2009.- 240 с.
2. Сиченко В.Г. Електропостачання швидкісних та високошвидкісних магістралей// Українські залізниці. № 5-6 (23-24) – 2015, - с. 32-39.
3. Перспектива разработки системы электрической тяги постоянного тока повышенного напряжения 24 кВ для скоростной магистрали Москва-Екатеринбург / Б.А. Аржанников, А.Т. Бурков, А.Г. Галкин, В.А. Мансуров, И.О. Набойченко // Тренды.События.Рынки. 2012, №7, с. 48-50.
4. Курбасов А.С. Система электрической тяги XXI века.// Железные дороги мира. – 1999. – № 4. – С. 19–22.
5. О переходе с постоянного тока на переменный. // Железные дороги мира. - 2013, № 6, с. 68-71.
6. Котельников А.В. К вопросу о выборе системы тягового электроснабжения при организации регулярного скоростного сообщения на линии Санкт-Петербург-Москва // Токосъем и тяговое электроснабжение при высокоскоростном движении на постоянном токе.: Сб. научн. тр. ОАО ВНИИЖТ. – М.: Интекст, 2010. с. 5-12.
7. ОСЖД Р-610/7 «Общие технические требования к системам тягового электроснабжения постоянного и переменного тока скоростных и высокоскоростных линий». 12 с.
8. Электромагнитные процессы в системах энергоснабжения железных дорог переменного тока / А.Б. Косарев, Б.И. Косарев, Д.В. Сербиненко. М.: ВМГ-Принт, 2015. – 349с.
9. Бадер М.П. Концепция обновления и перспективы технического развития систем тягового электроснабжения / М.П. Бадер, В.Г. Сыченко // Технічна електродинаміка, Темат. вип. Силова електроніка та енергоефективність, Ч. 2., 2009. – с. 88-93.
10. Хананов В.В., Бурков А.Т., Барч Д.В. Нововведения и инновационные процессы в тяговом электроснабжении.// Транспорт Российской Федерации. 2012, № 6, с. 34-39.
11. Босий, Д. О. Методика розрахунку миттєвих схем системи тягового електропостачання для споживання постійної потужності [Текст] / Д. О. Босий // Електрифікація транспорту. – 2014. – № 8. – С.15-25.
12. Марский В. Е. Подготовка тягового электроснабжения для организации скоростного движения на линии Санкт-Петербург-Москва / Марский В. Е. //Токосъем и тяговое электроснабжение при высокоскоростном движении на постоянном токе.: Сб. научн. тр. ОАО ВНИИЖТ. – М.: Интекст, 2010. с. 38-45.
13. Высокоскоростной поезд Velaro для России./ А. Липп и др.// Железные дороги мира. – 2009. – №

## REFERENCES

1. Blokhin Ye.P., Pshin'ko O.M. *Vysokoshvydkisnyy nazemnyy transport svitu* [High speed Surface Transportation of the world]. Dnipropetrovsk, DNURT Publ., 2009. 240 p.
2. Sychenko V.G. *Elektropostachannya shvydkisnykh ta vysokoshvydkisnykh mahistraley* [Power supply of high-speed railways]. *Ukrayins'ki zaliznytsi - Ukrainian railways*, no. 5-6, 2015, pp. 32-39.
3. Arzhannikov B.A., Burkov A.T., Galkin A.G., Mansurov V.A., Naboychenko I.O. *Perspektiva razrabotki sistemy elektricheskoy tyagi postoyannogo toka povyshennogo napryazheniya 24 kV dlya skorostnoy magistrali Moskva-Ekaterinburg* [Prospects for the development of electric traction DC high voltage 24 kV for the highway from Moscow to Yekaterinburg]. *Trendy.Sobytiya.Rynki - Trends. Developments. Markets*, no. 7, 2012, pp. 48-50.
4. Kurbasov A.S. *Sistema elektricheskoy tyagi KhKhI veka* [Electric traction system of the XXI century]. *Zheleznye dorogi mira - Railways of the World*, 1999, no. 4, pp. 19-22.
5. О переходе с постоянного тока на переменный [On the transition from DC to AC]. *Zheleznye dorogi mira - Railways of the World*, 2013, no. 6, pp. 68-71.
6. Kotel'nikov A.V. *K voprosu o vybore sistemy tyagovogo elektrosnabzheniya pri organizatsii regul'yarnogo skorotnogo soobshcheniya na linii Sankt-Peterburg-Moskva* [On the selection of tractive power at the organization of regular skorotnogo posts on the line St. Petersburg-Moscow]. *Tokos'em i tyagovoe elektrosnabzhenie pri vysokoskorostnom dvizhenii na postoyan-nom toke - Current collection and traction power supply during high-speed driving at a constant current*, 2010, pp. 5-12.
7. OSZhD R-610/7 *Obshchie tekhnicheskie trebovaniya k sistemam tyagovogo elektrosnabzheniya postoyannogo i peremennogo toka skorostnykh i vysokoskorostnykh liniy* [General technical requirements for traction power supply AC and DC high-speed and high-speed lines]. 12 p.
8. Kosarev A.B., Kosarev B.I., Serbinenko D.V. *Elektromagnitnye protsessy v sistemakh energosnabzheniya zheleznykh dorog peremennogo toka* [Electromagnetic processes in the power supply systems of railways AC]. Moscow, VMG-Print Publ., 2015. 349 p.
9. Bader M.P., Sychenko V.G. *Kontseptsiya obnoveniya i perspektivy tekhnicheskogo razvitiya sistem tyagovogo elektrosnabzheniya* [The concept of renovation and technological development prospects traction power supply systems]. *Tekhnichna elektrodynamika - Technical electrodynamics*, 2009, pp. 88-93.
10. Khananov V.V., Burkov A.T., Barch D.V. *Novovvedeniya i innovatsionnye protsessy v tyagovom elektrosnabzhenii* [Innovation and innovation processes in traction power]. *Transport Rossiyskoy Federatsii - Transport of the Russian Federation*, 2012, no. 6, pp.

1. – С. 36–50.

14. Четырехсистемный электровоз большой мощности EuroSprinter ES64F4. // Железные дороги мира. – 2006. – № 12. – С. 30–39.

15. Развитие пассажирского подвижного состава для обычных линий. // Железные дороги мира. – 2009. – № 9. – С. 31–38.

Надійшла до друку 01.12.2012.

34-39.

11. Bosyu, D. O. Metodyka rozrakhunku myt-tyevykh skhem systemy tyahovoho elektropostachannya dlya spozhyvannya postiyanoi potuzhnosti [The method of calculation schemes instant traction system power consumption constant power]. *Elektryfikatsiya transport - Electrification of transport*, 2014, no. 8, pp. 15-25.

12. Marskiy V. E. Podgotovka tyagovogo elektrosnabzheniya dlya organizatsii skorocnogo dvizheniya na linii Sankt-Peterburg-Moskva [Preparation of traction power supply for high-speed traffic on the line St. Petersburg-Moscow]. *Tokos"em i tyagovoe elektrosnabzhenie pri vysokoskorostnom dvizhenii na postoyannom toke - Current collection and traction power supply during high-speed driving at a constant current*, 2010, pp. 38-45.

13. Vysokoskorostnoy poezd Velaro dlya Rossii [High-speed train Velaro for Russia]. *Zheleznye dorogi mira - Railways of the World*, 2009, no.1, pp. 36-50.

14. Chetyrekhsistemnyy elektrovoz bol'shoy moshchnosti EuroSprinter ES64F4 [Four-sysytem high power electric locomotive EuroSprinter ES64F4]. *Zheleznye dorogi mira - Railways of the World*, 2006, no. 12, pp. 30-39.

15. Razvitie passazhirskogo podvizhnogo sostava dlya obychnykh liniy [The development of passenger rolling stock for conventional lines]. *Zheleznye dorogi mira - Railways of the World*, 2009, no. 9, pp. 31-38.

Внутрішній рецензент *Гетьман Г. К.*

Зовнішній рецензент *Панасенко М. В.*

Впровадження швидкісного, високошвидкісного пасажирського руху та великовагового вантажного руху поїздів зумовлено необхідністю забезпечення конкурентоспроможності залізничного транспорту з іншими видами. Детального і комплексного порівняльного аналізу якості функціонування існуючих систем електрифікації донині не виконано. Відомий досвід переведення електрифікованих ділянок постійного струму при впровадженні швидкісного руху на змінний з урахуванням очікуваного співвідношення витрат і корисного ефекту не має достатніх підстав.

В статті ставиться завдання аналізу енергетичних показників споживання електричної енергії в існуючих нині системах електрифікації залізниць та пропонуваній системі постійного струму 24 кВ, що дозволить точніше і більш зважено підходити до вибору системи.

Дослідження проводились на підставі методики розрахунку миттєвих схем з використанням аналітичних функцій опору, з врахуванням режиму стабілізації електрорухомим складом споживаної потужності, та до уваги приймалось, що швидкісні поїзди внаслідок великого опору руху споживають максимальний струм незалежно від профілю практично весь час руху ділянкою.

Отримані результати розрахунків вказують на те, що система тягового електропостачання постійного струму 24 кВ має найкращі показники по режиму напруги в тяговій мережі та забезпечує найменші втрати потужності в тяговій мережі за інших рівних умов.

**Ключові слова:** електрична тяга, постійний струм, змінний струм, швидкісні магістралі, методика розрахунку миттєвих схем, аналітичні функції опору, споживання постійної потужності.

## УДК 621.311

В. Г. СЫЧЕНКО, Д. А. БОСЬИЙ, В. В. БОЖКО, Е. Н. КОСАРЕВ, Ю. А. БОРИСОВСКАЯ, Я. П. ЩЕРБАК, Б. О. БОРЦ (ДНУЖТ)

Кафедра Электроснабжение железных дорог, Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени акад. В. Лазаряна, ул. Лазаряна 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел.: (056) 793-19-11, эл. почта: [elpostz@i.ua](mailto:elpostz@i.ua)

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ДЛЯ СКОРОСТНЫХ МАГИСТРАЛЕЙ

© Сиченко В. Г. та ін., 2015



Внедрение скоростного, высокоскоростного пассажирского движения и тяжеловесного грузового движения поездов обусловлено необходимостью обеспечения конкурентоспособности железнодорожного транспорта с другими видами. Детального и комплексного сравнительного анализа качества функционирования существующих систем электрификации до сих пор не выполнено. Известный опыт перевода электрифицированных участков постоянного тока при внедрении скоростного движения на переменный с учетом ожидаемого соотношения затрат и полезного эффекта не имеет достаточных оснований.

В статье ставится задача анализа энергетических показателей потребления электрической энергии для существующих сейчас систем электрификации железных дорог и предлагаемой системе постоянного тока 24 кВ, что позволит более точно и более взвешенно подходить к выбору системы.

Исследования проводились на основании методики расчета мгновенных схем с использованием аналитических функций сопротивления, с учетом режима стабилизации электроподвижным составом потребляемой мощности, и во внимание принималось то, что скоростные поезда вследствие большого сопротивления движению потребляют максимальный ток независимо от профиля практически все время движения по участку.

Полученные результаты расчетов указывают на то, что система тягового электроснабжения постоянного тока 24 кВ имеет лучшие показатели по режиму напряжения в тяговой сети и обеспечивает наименьшие потери мощности в тяговой сети при прочих равных условиях.

**Ключевые слова:** электрическая тяга, постоянный ток, переменный ток, скоростные магистрали, методика расчета мгновенных схем, аналитические функции сопротивления, потребление постоянной мощности.

Внутренний рецензент *Гетьман Г. К.*

Внешний рецензент *Панасенко Н. В.*

## UDC 621.311

V. G. SYCHENKO, D. O. BOSIY, V. V. BOZHKO, YE. M. KOSAREV, YU. A. BORYSOVS'KA, YA. P. SHCHERBAK, B. O. BORSHCH (DNURT)

Department of Power supply of Railways, Dnepropetrovsk National University of Railway Transport named after academician V. Lazaryan, 2 Lazaryan Street, Dnepropetrovsk, Ukraine, 49010, tel.: (056) 793-19-11, e-mail: [elpostz@i.ua](mailto:elpostz@i.ua)

## COMPARATIVE ANALYSIS OF ELECTRICITY FOR HIGHSPEED RAILWAYS

The introduction of high-speed, high-speed passenger traffic and heavy freight trains due to the need to ensure the competitiveness of rail with other modes of transport. Detailed and comprehensive comparative analysis of the quality of the functioning of existing systems, electrification has not yet been fulfilled. Known transfer experience electrified sections of DC in the implementation of high-speed traffic on the variables with the expected cost-beneficial effect has not been substantiated.

The article aim is to analyze the energy consumption rates of electricity to currently existing railway electrification systems and the proposed system, the DC 24 kV, which will allow more accurate and more balanced approach to the selection system.

Studies were conducted on the basis of the calculation method of instant schemes using analytic functions of resistance, taking into account the mode of stabilization of electric rolling power consumption, and taken into account the fact that high-speed trains because of the large resistance to movement consume a maximum current regardless of the profile of almost all travel on the site.

The results of calculations indicate that the system of traction power supply 24 kV DC has the best indicators of the voltage mode in traction network and provides the lowest power loss in traction network, ceteris paribus.

**Keywords:** electric traction, direct current, alternating current, high speed railway, instant schemes calculation methodic, analytic functions of resistance, consuming of constant power.

Internal reviewer *Getman G. K.*

External reviewer *Panasenko M. V.*