

**І. В. ДОМАНСЬКИЙ**, канд. техн. наук, доц., НТУ «ХПІ»

## **ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ СХЕМО-ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ ЗОВНІШНЬОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ТЯГОВИХ ПІДСТАНЦІЙ ЗАЛІЗНИЦЬ**

На основі аналізу класичних схем живлення тягових підстанцій залізниць від енергосистем розроблені концептуальні напрями розвитку електричних мереж зовнішнього електропостачання тягових підстанцій в умовах ринкової економіки і нормативних вимог електроенергетики України, які дозволяють забезпечити енергозберігаючі режими їх роботи.

**Ключові слова:** зовнішнє електропостачання, тягові підстанції, електричні мережі, режими роботи енергосистем.

**Вступ.** Програмою електрифікації залізниць України на 2011–2016 рр., наказ № 274-Ц від 10.06.2011 р., передбачено електрифікувати більше 1500 км залізничних ліній. Для живлення тяги поїздів нових дільниць необхідно збудувати та приєднати до електричних мереж значну кількість тягових підстанцій. Разом з тим недосконалість нормативної бази електроенергетики України в частині приєднання установок споживачів до електричних мереж, велика вартість будівництва та необхідність відчуження земельних ділянок під об'єкти електрифікації вимагає великих обсягів фінансування.

Загальний недолік схем приєднань тягових підстанцій електрифікованих дільниць за період 1993–2011 років полягає в тому, що практично всі підстанції приєднувались до мереж 110 кВ Обленерго, а ряд з них до таких мереж 110 кВ, які з'єднували різні енергосистеми. Паралельно працюючі мережі 110 кВ, 220 кВ, або 110 кВ, 330 кВ різнорідні і передача потужності по них відбувається при пониженій економічності роботи мережі в цілому. Перетоки потужності по мережах 110 кВ від яких живляться тягові підстанції визивають великі втрати в електротягових мережах.

Таким чином в умовах ринкової економіки, а також враховуючи те, що залізниці України є ліцензіатами з передачі та постачання електроенергії, необхідне мати бачення перспективних схемо-технічних рішень та методів і моделей аналізу перетоків потужності, які в сукупності забезпечують відповідну категорію надійності приєднання тягових підстанцій до мереж енергосистем та зменшують втрати в електротягових мережах.

**Класичні схеми живлення тягових підстанцій залізниць від енергосистем.** Схеми зовнішнього електропостачання ділянок залізниці, що електрифікуються, передбачають, що тягові підстанції (крім розташованих на ма-лодіяльних ділянках) повинні забезпечуватися живленням від електропередавальних компаній як споживачі з електроприймачами I категорії, тобто вихід

з роботи однієї з підстанцій (секції шин) енергосистеми або живлячої лінії не повинен призводити до відключення тягової підстанції [1]. Тягові підстанції є одночасно і частиною енергосистеми, переробляючи 50 % електроенергії для промисловості, міст, сільського господарства. Окрім живлення тяги поїздів підстанції використовуються для електропостачання інших залізничних споживачів через спеціальні повітряні лінії (зокрема подовжні, «два проводирейка», автоблокування і ін.) і споживачів навколишнього району. Це, безперечно, зіграло свого часу позитивну роль в електрифікації народного господарства в цілому, позитивно впливає сьогодні на прибутковість залізниць і лінійних підприємств електропостачання, забезпечуючи отримання доходу за переробку електроенергії для не залізничних споживачів.

В районах з сильно розвинутою інфраструктурою електричних мереж, конфігурація схем приєднання підстанцій може бути вельми різноманітною. В цьому випадку важко дати які-небудь узагальнювальні схеми живлення тягових підстанцій, оскільки велику роль в структурі схеми самої енергосистеми гратимуть місцеві специфічні умови її розвитку. Для живлення тягових підстанцій застосовується наступна стандартна напруга (по ГОСТ 721–77): 6,3; 10,5; 35,0; 110 (158) і 220 кВ. Напруга до 35 кВ використовується для живлення перетворювальних підстанцій відносно невеликої потужності (до 25 мВА).

При двосторонньому живленні тягових підстанцій від двокової лінії передачі (рис. 1) лінії заводяться (за допомогою силових вимикачів) на так звані опорні тягові підстанції. Решта всіх підстанцій або отримує живлення відпайкою, або включається в розсічку лінії передачі по черзі до різних ланцюгів лінії. Отпаєчні і прохідні підстанції чергуються між собою так, щоб виконувалася приведена вище вимога, що при будь-якій аварії на лінії передачі (навіть одночасному пошкодженні обох ланцюгів лінії) не повинно відключатися більш за одну підстанцію. На залізницях України прийнято, що для забезпечення необхідної надійності число проміжних підстанцій, які включаються між опорними підстанціями, при електричній тязі змінного струму повинно бути не більше трьох при напрузі 110 кВ і не більше п'яти – при напрузі 220 кВ; при електричній тязі постійного струму – не більше п'яти (рис. 1).

При двосторонньому живленні тягових підстанцій від одноланцюгової лінії передачі (рис. 2) до схеми живлення пред'являються ті ж вимоги, що і вище (при будь-якій аварії на лінії передачі вихід з роботи не більш однієї підстанції на ділянці завдовжки 150 – 200 км.). Тому при живленні від одноланцюгової лінії передачі не допускається приєднання підстанцій відпайкою, всі підстанції включаються в розсічку лінії, причому на кожній проміжній підстанції лінії передачі секціонуються вимикачем. Силові вимикачі на транзитних підстанціях виконують функції захисту. Останнім часом в схемі (рис. 3) вводиться перемичка (з двома роз'єднувачами), яку використовують при відключенні вимикача (для ремонту) з метою збереження транзиту енергії по лінії.

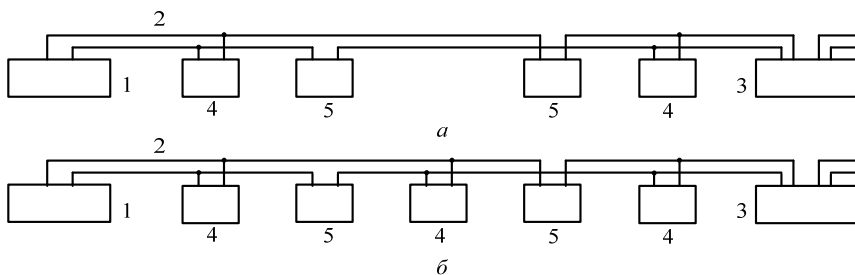


Рис. 1 – Схеми двостороннього живлення тягових підстанцій змінного (при ЛЕП-220 кВ) і постійного струму від дволанцюгової лінії передачі при чотирьох (а) і п'яти (б) проміжних підстанціях: 1 – електрична станція (або опорна районна підстанція); 2 – дволанцюгова лінія передачі 110 кВ; 3 – опорна тягова підстанція; 4 – проміжна тягова підстанція на відпаюванні; 5 – проміжна транзитна тягова підстанція

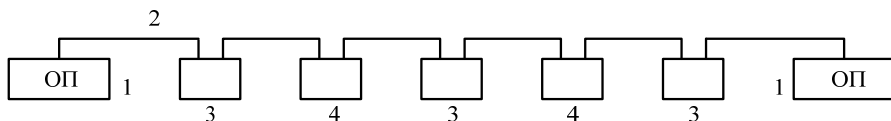


Рис. 2 – Схема двостороннього живлення тягових підстанцій від одноланцюгової лінії передачі: 1 – електрична станція (або районна опорна підстанція); 2 – одноланцюгова лінія передачі 110 кВ; 3 – транзитна (з вимикачем) проміжна підстанція; 4 – проміжна підстанція без вимикача (з роз'єднувачем в перемичці)

У разі одноланцюгової лінії передачі рекомендується здійснювати транзитний пропуск ЛЕП через розподільчі пристрої 110 і 220 кВ всіх тягових підстанцій, встановлюючи силовий вимикач в перемичці між входом і виходом ЛЕП на підстанцію (рис. 3). Опорною вважається підстанція, до шин 110–220 кВ якої приєднується не менше трьох живлячих ланцюгів повітряних ліній. Якщо тягова підстанція живиться окремими лініями від підстанції енергосистеми або підключається до ліній між двома опорними підстанціями, то вона приєднується відповідно (рис. 4).

На підстанціях змінного струму в даний час застосовують трифазні триобмоткові трансформатори. Від обмотки 27,5 кВ живиться тягове навантаження, а третя обмотка напругою 35 або 10 кВ служить для живлення районних (нетягових) споживачів. Проте на підстанціях однофазного струму можуть застосовуватися трансформатори з найрізноманітнішими схемами з'єднання обмоток. Залежно від цього живлення району може здійснюватися по-різному. Істотну роль в цьому випадку грає і співвідношення споживаної потужності тяги і району.

На підстанціях постійного струму застосовуються як триобмоткові, так і двообмоткові знижувальні трансформатори. Для живлення районних споживачів, розташованих біля підстанції, може бути використана напруга 6 або

10 кВ. Для обхвату більшого числа споживачів віддають перевагу лініям з напругою 10 кВ. При цьому, оскільки на підстанції вже буде напруга 10 кВ, доцільно від нього жити і тягові перетворювальні агрегати.

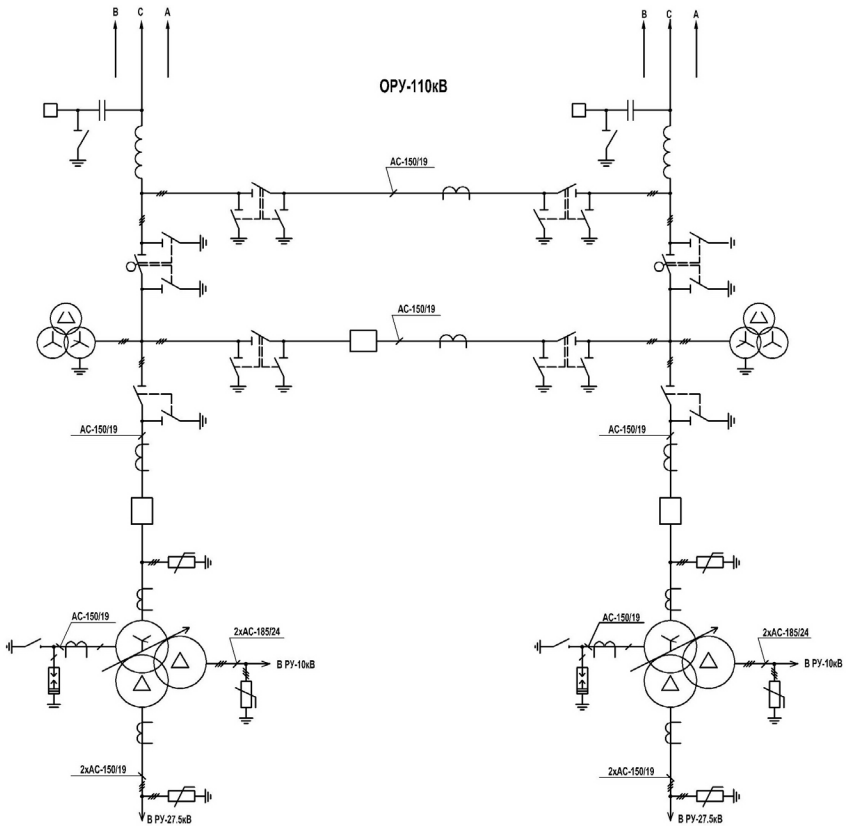


Рис. 3 – Рекомендована схема головних електричних з'єднань транзитної тягової підстанції 220 – 110 кВ

Для живлення віддалених споживачів району потрібна напруга 35 кВ. В цьому випадку знижувальні трансформатори повинні бути триобмотковими 115/38,5/11,0 кВ. Схема підстанції постійного струму після знижувального трансформатора остається без змін. За відсутності віддалених районних споживачів досить мати на підстанції двообмоточні знижувальні трансформатори.

Як неважко уявити з попередніх міркувань, при розборі схем живлення підстанцій ділянок постійного струму мова йшла про двоступінчасту трансформацію: спочатку з 110 на 10 кВ, а потім ще одна трансформація і пере-



систем до тягових підстанцій залізниць приводять до підвищених втрат, які обумовлені: випадковою несиметрією струмового навантаження фаз ліній; неповнофазними режимами; некомпенсованими перетоками реактивної потужності; нелінійністю втрат (вплив потоків електроенергії в спільних елементах мережі); зносом устаткування (ліній, трансформаторів); незапланованими переключеннями схем.

**Моделювання перетоків потужності по тяговій мережі.** Перетоки потужності по тягових мережах в основному визначаються режимом роботи системи зовнішнього електропостачання. В деяких випадках перетоки потужності в лініях досягають величин, несумісних з надійністю цієї лінії або системи, і вимагають диспетчерського регулювання. Враховуючи, що повна витрата електроенергії тягової підстанції складається з витрати електроенергії на тягу поїздів, втрат і перетоків електроенергії по тяговій мережі, можна запропонувати формулу для визначення перетоку

$$W_{nep} = W - \Delta W - W_{mn} = \sum_{i=1}^T (I_{ni} \dot{U}_{wi} - \Delta S_i) - W_{mni}, \quad (1)$$

де  $W$  – повна витрата електроенергії тягової підстанції;  $\Delta W$  – втрата енергії в тягових мережах;  $I_{ni}^*$  – спряжений комплекс миттєвих значень струмів плечей живлення;  $\dot{U}_{wi}$  – миттєве значення напруги;  $W_{mni}$  – витрата електроенергії на тягу поїздів.

Розрахунок втрат енергії в тягових мережах зводиться до послідовного розрахунку ряду модельованих миттєвих схем

$$\Delta W = \sum_{i=1}^T \Delta S_i = \sum_{i=1}^T \dot{I}_{ti} \mathbf{Z}_{Bi} \dot{I}_{Bi}^*, \quad (2)$$

де  $\Delta S_i$  – втрати потужності миттєвої схеми;  $\dot{I}_t = (\dot{I}_{t1}, \dot{I}_{t2}, \dots, \dot{I}_{tn})$  – транспонований вектор струмів в вітках схеми;  $\mathbf{Z}_B$  – матриця опорів віток;

$\dot{I}_B = (\dot{I}_1, \dot{I}_2, \dots, \dot{I}_n)$  – спряжений вектор струмів в вітках схеми;  $T$  – кількість вирішених миттєвих схем;  $n$  – кількість віток схеми.

Складаючи блокові матриці можна одержати вираз для визначення струмів віток без приведення до однієї базисної напруги всієї схеми

$$\dot{I}_B = \begin{pmatrix} \dot{I}_{\alpha\xi} \\ \dot{I}_{\alpha\tau} \\ \dot{I}_{\beta\tau} \\ \dot{I}_{\beta\xi} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \mathbf{M} \\ \mathbf{N} \mathbf{Z}_B \end{pmatrix}^{-1} \cdot \begin{pmatrix} \mathbf{J} \\ \mathbf{N} \dot{\mathbf{E}}_{\Sigma} \end{pmatrix}; \quad \dot{\mathbf{E}}_{\Sigma} = (\dot{\mathbf{E}}_{\xi} + \dot{\mathbf{E}}_{\tau}) = \begin{pmatrix} \dot{\mathbf{E}}_{\alpha\xi} \\ \dot{\mathbf{E}}_{\alpha\xi} + \dot{\mathbf{K}} \dot{\mathbf{E}}_{\beta\tau} \\ \dot{\mathbf{E}}_{\beta\xi} + \dot{\mathbf{E}}_{\beta\tau} \\ \dot{\mathbf{E}}_{\beta\xi} \end{pmatrix}, \quad (3)$$

де  $M_{m \times n}$  і  $N_{k \times n}$  – перша і друга матриці інцидентій;  $m$  – кількість вузлів;  $k = n - m$  – кількість незалежних контурів;  $\mathbf{J} = (\dot{J}_1, \dot{J}_2, \dots, \dot{J}_m)$  – вектор стру-

мів, що задаються;  $\dot{\mathbf{E}}_{\Sigma}$  – сумарний вектор Е.Д.С. віток,  $\dot{\mathbf{E}}_{\xi}$  – вектор Е.Д.С. в вітках дерева та хорд без трансформацій. Тут елементи  $\tau$  у векторах  $\dot{\mathbf{E}}_{\tau}$  і  $\dot{\mathbf{I}}_B$  зв'язані залежностями  $\dot{\mathbf{E}}_{\alpha\tau} = \dot{\mathbf{K}} \dot{\mathbf{E}}_{\beta\tau}$  і  $-\dot{\mathbf{K}} \dot{\mathbf{I}}_{\alpha\tau} = \dot{\mathbf{I}}_{\beta\tau}$ , де  $\dot{\mathbf{K}}$  – квадратна матриця коефіцієнтів трансформації розмірністю  $\tau$ ;  $\alpha$  – вітки дерева схеми;  $\beta$  – вітки хорд схеми;  $\xi$  – вітки дерева і хорд не зв'язані з трансформаціями.

Для скорочення витрат машинного часу доцільно перетворити матричні рівняння. З цією метою струми в вітках схеми представляють на підставі методу накладення у вигляді суми  $\dot{\mathbf{I}}_B = \dot{\mathbf{I}}_B' + \dot{\mathbf{I}}_B''$ . Тут складова  $\dot{\mathbf{I}}_B'$  пов'язана з контурними струмами співвідношенням  $\dot{\mathbf{I}}_B' = \mathbf{N}_t \cdot \dot{\mathbf{I}}_k$ , де  $\mathbf{N}_t$  – транспонована друга матриця інцидентів;  $\dot{\mathbf{I}}_k$  – вектор контурних струмів. Складову  $\dot{\mathbf{I}}_B''$ , залежну від струмів, що задаються поїздів, можна знайти з виразу

$$\dot{\mathbf{I}}_B'' = \begin{pmatrix} \mathbf{M}_{\alpha}^{-1} \\ \mathbf{0} \end{pmatrix} \mathbf{j},$$

де  $\mathbf{M}_{\alpha}^{-1}$  – обернена матриця інцидентів для дерева схеми.

Тоді для визначення струмів в вітках схеми по відомим навантаженням поїздів і навантаженням зовнішньої системи електропостачання одержимо вираз

$$\dot{\mathbf{I}}_B = \mathbf{N}_t \left\{ (\mathbf{N} \mathbf{Z}_B \mathbf{N}_t)^{-1} \left[ \mathbf{N} (\dot{\mathbf{E}}_{\xi} + \dot{\mathbf{E}}_{\tau}) - \mathbf{N} \mathbf{Z}_B \begin{pmatrix} \mathbf{M}_{\alpha}^{-1} \\ \mathbf{0} \end{pmatrix} \mathbf{j} \right] \right\} + \begin{pmatrix} \mathbf{M}_{\alpha}^{-1} \\ \mathbf{0} \end{pmatrix} \mathbf{j}. \quad (4)$$

Роздільний розгляд кожної електрично незалежної ділянки мережі при визначенні його узагальнених параметрів дозволяє декілька спростити розрахунок, але вимагає для урахування взаємодій через трансформації еквівалентних перетворень. Розглянемо ділянку мережі зовнішньої системи електропостачання, що є кільцевою мережею 110 кВ (має індекс I) і ділянка тягової мережі 27,5 кВ (індекс II) (рис. 5).

Для кожної ділянки I і II рівняння стану з урахуванням взаємозв'язків

$$\dot{\mathbf{K}} \dot{\mathbf{E}}_{\tau \text{ II}} = \dot{\mathbf{E}}_{\tau \text{ I}} \quad \text{і} \quad -\dot{\mathbf{K}} \dot{\mathbf{J}}_{\text{I}} = \dot{\mathbf{J}}_{\text{II}}$$
 можна записати у вигляді

$$\dot{\mathbf{J}}_{\text{I}} = \dot{\mathbf{Y}}_{\text{I}} (\dot{\mathbf{K}} \dot{\mathbf{E}}_{\tau \text{ II}} - \dot{\mathbf{U}}_{\delta} \mathbf{n}) + \dot{\mathbf{J}}_{0 \text{ I}}; \quad -\dot{\mathbf{K}} \dot{\mathbf{J}}_{\text{I}} = \dot{\mathbf{Y}}_{\text{II}} \dot{\mathbf{E}}_{\tau \text{ II}} + \dot{\mathbf{J}}_{0 \text{ II}}, \quad (5)$$

де  $\dot{\mathbf{J}}_{\text{I}}$ ,  $\dot{\mathbf{J}}_{\text{II}}$  – вектори струмів, що задаються у вузлах, що зв'язують мережі зовнішнього I і тягового II електропостачання;  $\dot{\mathbf{E}}_{\tau \text{ I}}$ ,  $\dot{\mathbf{E}}_{\tau \text{ II}}$  – вектори Е.Д.С. в вітках з трансформаціями;  $\dot{\mathbf{U}}_{\delta}$  – напруга в базисному вузлі;  $\mathbf{n}$  – одиничний вектор з розмірністю кількості вузлів схеми;  $\dot{\mathbf{J}}_{0 \text{ I}}$ ,  $\dot{\mathbf{J}}_{0 \text{ II}}$  – вектори струмів, що

задаються відповідних ділянок мережі, обумовлених навантаженнями поїздів і зовнішньої системи електропостачання;  $\dot{Y}_I$ ,  $\dot{Y}_{II}$  – матриці повної вузлової провідності відповідних ділянок.

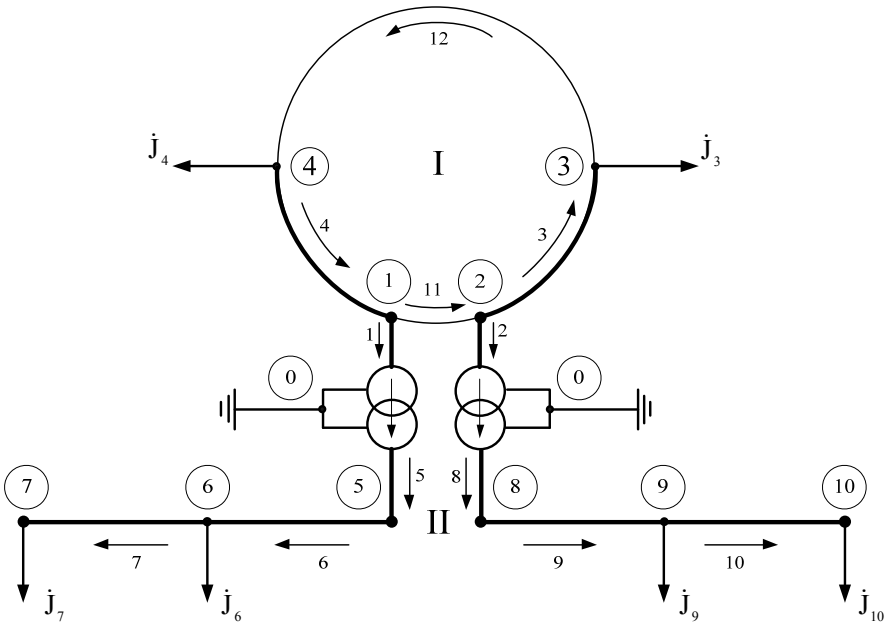


Рис. 5 – Схема внешнего и тягового электроснабжения:

$\dot{J}_3, \dot{J}_4$  – нагрузки внешней системы;  $\dot{J}_6, \dot{J}_7, \dot{J}_9, \dot{J}_{10}$  – поездные нагрузки

Спростивши вираз (5), умножаючи перше рівняння на  $\dot{K}$  зліва і складаючи з другим, одержимо  $\dot{Y}_e \dot{E}_{\tau II} + \dot{J}_e = 0$ , де  $\dot{Y}_e = \dot{K} \dot{Y}_I \dot{K}^* + \dot{Y}_{II}$  – матриця пасивних параметрів еквівалентної схеми зовнішньої і тягової систем електропостачання;  $\dot{J}_e = \dot{K} \dot{J}_{0I} + \dot{J}_{0II} - \dot{U}_6 \dot{K} \dot{Y}_I n$  – вектор активних параметрів еквівалентної схеми.

Напруги у вузлах з'єднання схем I і II і у виключених вузлах визначаються за формулами:  $\dot{E}_{\tau II} = \begin{pmatrix} \dot{U}_6 n + \dot{U}_{\Delta e} \\ \dot{U}_6 \end{pmatrix}$ ;  $\dot{E}_{\tau I} = \dot{K} \dot{E}_{\tau II}$ ;  $\dot{U}_{BI,II} = -\dot{Y}_{BB}^{-1} \times (\dot{Y}_{B\tau} \dot{E}_{\tau} + \dot{J}_b')$ .

Знайдені параметри напруг можна використовувати для формування вектора  $\dot{E}_{\Sigma}$  і подальшого розрахунку по формулах (3) і (4) вектора струмів ві-



ток  $\dot{I}_B$  і втрат енергії ділянок тягового і зовнішнього електропостачання.

Проте таке рішення питання вимагає великої оперативної пам'яті, швидкодії ЕОМ і баз даних, що належать різним міністерствам і відомствам. Можна запропонувати і інший спрощений підхід, цілком допустимий для вирішення цілого класу задач тягового електропостачання – статистичне моделювання напруги холостого ходу на шинах тягових підстанцій.

Витрата електроенергії на тягу поїздів визначається таким виразом

$$W_{mn} = \sum_{j=1}^m W_j = \sum_{j=1}^m 2,725 \int_{S_{Hj}}^{S_{Kj}} F_k(S) \eta^{-1}(S) dS, \quad (6)$$

де  $W_i$  – витрата електроенергії  $i$ -го поїзда;  $m$  – кількість поїздів на міжпідстанційній зоні;  $\eta$  – К.П.Д. електровоза;  $F_k$  – сила тяги електровоза.

Підставив значення  $W_{mn}$  у формулу (5), одержимо остаточний вираз для визначення перетоку електроенергії по тяговій мережі за час моделювання

$$W_{nep} = \sum_{i=1}^T (I_{ni}^* \dot{U}_{ui} - \Delta S_i) - 2,725 \sum_{j=1}^m \int_{S_{Hj}}^{S_{Kj}} F_k(S) \eta^{-1}(S) dS. \quad (7)$$

**Концептуальні напрями розвитку електричних мереж зовнішнього електропостачання тягових підстанцій.** Стратегія розвитку схем зовнішнього електропостачання тягових підстанцій з урахуванням вимог електроенергетики України базується на нових підходах електропостачання підстанцій у тому числі [2–9]:

- приєднання до мереж НЕК Укренерго (220–330 кВ) для підвищення якості електроенергії і зниження витрат і часу будівництва нових тягових підстанцій;

- створення транспортно-енергетичних коридорів в полісві відчуження залізниць, що ефективно при спорудженні нових залізничних ліній в енергодефіцитних регіонах;

- підвищення надійності і безпеки електропостачання тягових підстанцій шляхом розвитку власних живлячих електричних мереж 110 кВ і пересувних підстанцій нового покоління з РП-110 кВ;

- обґрунтування створення власних потужностей генерації електричної і теплової енергії для стаціонарної енергетики;

- зниження перетоків потужності і втрат енергії в мережах електротяги і живлячих мережах енергосистем;

- зниження коштів на закупку електроенергії шляхом розвитку схем приєднання тягових підстанцій до мереж зовнішнього електропостачання по першому класу (35, 110, 220, 330 кВ).

Нові підходи безпосередньо впливають на забезпечення енергобезпеки

процесу перевезень. З урахуванням цього мають бути визначені заходи як організаційного, так і фінансового характеру, спрямовані на реалізацію вказаних пріоритетів по відповідних господарствах залізниць та взаємодію з НЕК «Укренерго». На балансі НЕК «Укренерго» знаходиться 22,93 тис. км магістральних і міждержавних ліній електропередач напругою 35–800 кВ та 133 електричні підстанції (ПС) напругою 220–750 кВ. До магістральних або міждержавних електричних мереж можуть бути приєднані виключно електроустановки ліцензіата з передачі електричної енергії місцевими (локальними) електричними мережами або електроустановки, призначені для виробництва електричної енергії.

На теперішній час залізниця є ліцензіатами з передачі і поставки електроенергії, що дозволяє їм використовувати приєднання до таких мереж і таким чином підвищити якість електроенергії для споживачів залізниць. Технічні умови приєднання видаються власником електричних мереж у разі приєднання нової електроустановки, збільшення електричної потужності електроустановки внаслідок реконструкції чи технічного переоснащення, зміни вимог замовника до надійності електрозабезпечення електроустановки, зміни точки приєднання. Власник мереж має забезпечити відповідно до умов договору про приєднання технічну можливість підключення електроустановок замовника в точці приєднання та своєчасне підведення електричних мереж до точки приєднання, а також збільшення їх пропускної спроможності. Так проектом зовнішнього електропостачання електрифікованої дільниці Полтава – Кременчук – Користівка передбачено пересувну тягову підстанцію 150/27,5/10 кВ «Кременчук тяг.», яка має джерело живлення: ПС 330 кВ «Кременчук» Північної ЕС НЕК «Укренерго». Це значно збільшує енергетичну безпеку залізниць, надійність живлення тягових підстанцій та дозволяє знизити втрати електроенергії при її передачі.

Окрім цього залізниця має можливість використовувати унікальну автоматизовану систему комерційного обліку електроенергії для реалізації економічного електропостачання за рахунок аналізу і регулювання режимів роботи електротягових мереж з урахуванням режимів енергосистеми для мінімізації перетоків потужності і зменшення втрат енергії. Значну роль у надійності зовнішнього електропостачання грає досконалість оперативного управління електричними мережами та взаємодія енергодиспетчерського апарату електропередавальних організацій та НЕК «Укренерго» з ЕЦЗ залізниць.

Діючи закони та нормативні акти дозволяють фінансування капітального будівництва, реконструкції та обслуговування об'єктів, призначених для спільних потреб підприємств електроенергетики та підприємств інших галузей, проводити за рахунок замовників (власників) та користувачів цих об'єктів. Енергопостачальники зобов'язані забезпечувати надійне постачання електричної енергії згідно з умовами ліцензій та договорів. Такі пункти закону направлені на розвиток електричних мереж залізниць, дозволяють приєднання тягових підстанцій до електричних мереж енергосистем та зобов'язують ене-

гросистему відшкодовувати збитки (згідно зазначених штрафів) які несе залізниця під час споживання неякісної енергії.

Основним недоліком нормативно-правової бази електроенергетики України щодо приєднаних електроустановок до електричних мереж є її недоконалість у частині передачі власності (технічних засобів), що створені в результаті виконання технічних умов силами та коштами замовників, на баланс власників електричних мереж і це стримує розвиток і реконструкцію електричних мереж в цілому і створює колізію у господарської діяльності.

Зниження витрат на зовнішнє електропостачання при електрифікації нових ділянок вимагає збільшення відстаней між тяговими підстанціями до 80 – 100 км і застосування нових схем живлення з реалізацією глибоких вводів високої напруги (підключення до ЛЕП 220, 330 кВ) і перспективою переходу до власних розподільчих мереж 110 кВ. Тут можлива у перспективі розв'язка з системою зовнішнього електропостачання через коло постійного струму і рішення питання електромагнітної сумісності.

Перспективними на сьогодні є високовольтні лінії електропередач (клас напруги 35–110 кВ, в тому числі і ЛЕП зовнішнього електропостачання), які прокладають в полосі відчуження залізниць на окремо стоячих опорах у обмежених габаритах, як виняток, розміщують в габариті опор контактної мережі. Як правило, це двоколові або триколові ЛЕП, які будуються як на електрифікованих, так і на не електрифікованих ділянках. Опори ЛЕП у місцях з обмеженими габаритами полоси відведення використовують для кріплення контактної підвіски. В результаті створюється транспортно-енергетичний коридор по якому проходять і власні живлячі лінії 110 кВ. Такі лінії в полосі відчуження залізниць має Германия та другі країни [6–8]. Посадження різних комунікацій в одній трасі має великі переваги при їх споруді і експлуатації. Притрасові автомобільні дороги, як дороги загального призначення, скорочують терміни будівництва і електрифікації залізничних ліній, дозволяють високоякісно і в короткі терміни здійснювати планові і аварійні роботи по ремонту цих ліній і енергетичних мереж.

Для зниження втрат енергії пропонується: реалізація раціонального графіка руху поїздів і глибоких вводів високої напруги з перспективою переходу до власних розподільчих мереж 110 кВ, модернізація і оснащення сучасним електроустаткуванням рухомого складу і інфраструктури основних і перспективних напрямів залізниць.

**Висновки.** Розвиток схем зовнішнього електропостачання тягових підстанцій з урахуванням вимог електроенергетики України базується на приєднанні до мереж НЕК Укренерго (220–330 кВ) з метою підвищення якості електроенергії і зниження витрат і часу будівництва нових тягових підстанцій та підвищенні надійності і безпеки електропостачання тягових підстанцій шляхом створення транспортно-енергетичних коридорів в полосі відчуження залізниць. Перспективними являються наступні етапи реалізації концепції схе-

мо-технічних рішень зовнішнього електропостачання тягових підстанцій при існуючих режимах роботи енергосистем:

– розробка і техніко-економічне обґрунтування пропозицій по коректуванню і взаємній ув'язці інвестиційних програм розвитку і технічного переоснащення електричних мереж Укрзалізниці, НЕК «Укренерго», Обленерго по підвищенню надійності електропостачання тягових підстанцій залізниць;

– розрахунки режимів роботи електричних мереж зовнішнього електропостачання тягових підстанцій і підготовка рекомендацій по підвищенню надійності існуючих схем, зменшення перетоків потужності та втрат енергії.

**Список літератури:** 1. *Марквард К.Г.* Электроснабжение электрифицированных железных дорог. – М.: Транспорт, 1982. – 528 с. 2. *Корниенко В.В., Котельников А.В., Доманский В.Т.* Электрификация железных дорог. Мировые тенденции и перспективы (Аналитический обзор). – К.: Транспорт Украины, 2004. – 196 с. 3. *Мельников Н.А., Солдаткина Л.А.* Регулирование напряжения в электрических сетях. – М.: Энергия, 1968. – 152 с. 4. *Корниенко В.В., Доманская Г.А.* Методы расчета и моделирования режимов работы систем тягового электроснабжения и питающих их энергосистем // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2007. – № 5/3 (29). – С. 31–37. 5. *Доманская Г.А.* Оценка перетоков мощности и выбор энергосберегающих схем питания // Вісник Національного технічного університету „Харківський політехнічний інститут”. – Харків: НТУ „ХПІ”. – 2007. – №37. – С. 106–110. 6. *Tuttas Ch.* Тяговая сеть переменного тока с активным обратным проводом // Железные дороги мира. – 2002. – №2. – С. 38–43. 7. *Vennegeerts H.* Параллельная прокладка высоковольтных трехфазных тяговых линий // Elektrische Bahnen. – 2003. №4, – С. 100–104. 8. *Levermann-Vollmer D.* Первое применение в Германии тяговой системы 2×15 кВ, 16,7 Гц // Elektrische Bahnen. – 2003. №4/5, – С. 172–176. 9. *Доманский В.Т., Корниенко В.В., Котельников А.В.* Энергетическая безопасность железных дорог и стратегия их развития // Залізничний транспорт України. – 2010. – №6. – С.5–9.

*Надійшла до редколегії 23.01.2013*

---

УДК 621.331:621.311.52

**Перспективи розвитку схемо-технічних рішень зовнішнього електропостачання тягових підстанцій залізниць / І.В. Доманський** // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Математичне моделювання в техніці та технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ», 2013. – №5 (979). – С. 54–65. Бібліогр.: 9 назв.

На основе анализа классических схем питания тяговых подстанций железных дорог от энергосистем разработаны концептуальные направления развития электрических сетей внешнего электроснабжения тяговых подстанций в условиях рыночной экономики и нормативных требований электроэнергетики Украины, которая позволяет обеспечить энергосберегающие режимы их работы.

**Ключевые слова:** внешнее электроснабжение, тяговые подстанции, электрические сети, режимы работы энергосистем.

On the basis of analysis of classic charts of feed of hauling substations of railways from grids conceptual directions of development of electric networks of external power supply of hauling substations are worked out in the conditions of market economy and normative requirements electroenergy of Ukraine, which allows to provide energykeeping their work.

**Key words:** external power supply, hauling substations, electric networks, modes of operations of grids.