

Запорізький національний університет
Навчально-науковий інженерний інститут ім. Ю.М. Потєбні

Кафедра електричної інженерії та кіберфізичних систем

Пояснювальна записка

до магістерської роботи

рівень вищої освіти другий (магістерський) рівень

на тему Підвищення ефективності використання електричної енергії
для живлення тягових підстанцій

Виконав: студент 2 курсу, групи 8.141

Доценко В.І.

(прізвище та ініціали) (підпис)

спеціальності

141 Електроенергетика, електротехніка та

електромеханіка

(шифр і назва)

спеціалізація

(шифр і назва)

освітньо-професійна програма

141.00.11 Електроенергетика, електротехніка та

електромеханіка

(шифр і назва)

Керівник

Овчинникова І.А.

(прізвище та ініціали) (підпис)

Запоріжжя

2022 рік

Запорізький національний університет

Навчально-науковий інженерний інститут ім. Ю.М. Потебні

(повне найменування вищого навчального закладу)

Кафедра електричної інженерії та кіберфізичних систем

(по

овна назва кафедри)

Рівень вищої освіти другий (магістерський) рівень

(повна назва кафедри)

Спеціальність 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

(шифр і назва)

Спеціалізація

(шифр і назва)

Освітньо-професійна програма

141.00.11 Електроенергетика,
електротехніка

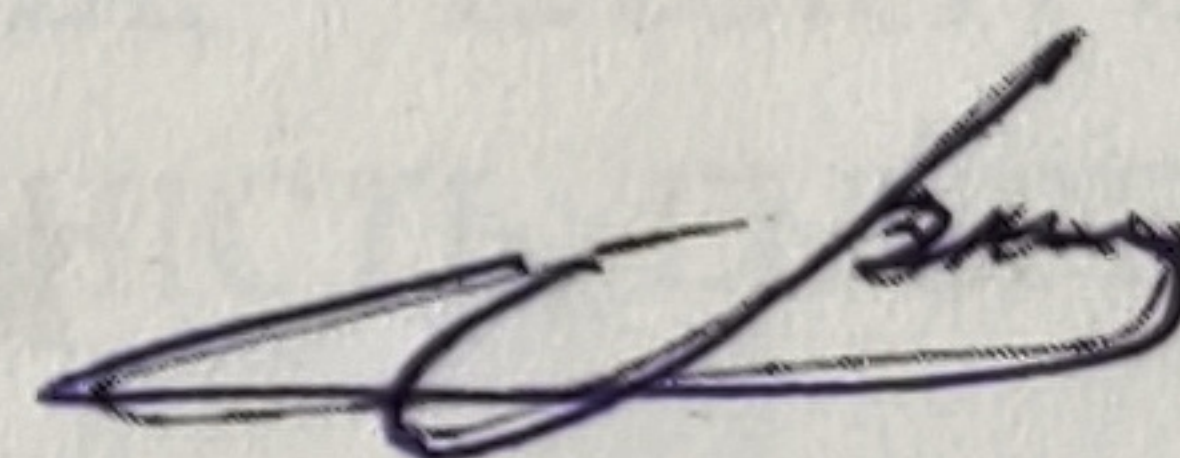
(шифр і назва)

та електромеханіка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

д.т.н., доц.



В.Л. Коваленко

“ 12 ” грудня 2022 року

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу студенту

Доценку Валерію Ігоровичу

1. Тема роботи: Підвищення ефективності використання електричної енергії для живлення тягових підстанцій

Керівник роботи: к.т.н., доцент Овчинникова І.А.

затверджені наказом ЗНУ від « 02 » червня 2022 року № 597 - с

2. Строк подання студентом роботи: 07 грудня 2022 року

3. Вихідні дані до роботи: поточний тариф за споживання електроенергії; потужність електрорухомого складу; дані про об'єми споживання електричної енергії залізницями

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які рекомендовано розробити):

Вступ. 1) Загальна будова системи енергопостачання для живлення електротранспорту; 2) Аналіз потенціалу застосування енергозберігаючих заходів на залізничному транспорті; 3) Розробка заходів з підвищення ефективності роботи системи електропостачання залізниць

5. Перелік графічного матеріалу: 1) Титульна сторінка; 2) Загальні характеристики тягових підстанцій; 3)-6) аналіз характеру споживачів електроенергії залізницею; 7) принципова схема СТЕ постійного струму

6. Консультанти розділів дипломної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ 1	Овчинникова І.А., доцент		<i>Вел</i>
Розділ 2	Овчинникова І.А., доцент		<i>Вел</i>
Розділ 3	Овчинникова І.А., доцент		<i>Вел</i>
Нормоконтроль	Башлій В.С., доцент		<i>Башлій</i>

7. Дата видачі завдання

01.06.2022 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів магістерської роботи	Примітки
1	Загальна будова системи енергопостачання для живлення електротранспорту	01.10.2022	
2	Аналіз потенціалу застосування енергозберігаючих заходів на залізничному транспорті	01.11.2022	
3	Розробка заходів з підвищення ефективності роботи системи електропостачання залізниць	01.12.2022	

Студент

Вел
(підпис)

Доценко В.І.
(прізвище та ініціали)

Керівник дипломної роботи

(підпис)

Овчинникова І.А.
(прізвище та ініціали)

Нормоконтролер

Башлій
(підпис)

Башлій С.В.
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

У представленій роботі проведено аналіз систем електропостачання потягів постійного струму залізниць України. Розробка методів енергозбереження дозволяють знаходити рішення за кількома критеріями за змінних у часі тарифів на електроенергію з врахуванням рівня надійності силового обладнання. Існуючий потенціал енергозбереження в системі енергопостачання дозволить визначити ефективність енергозберігаючих заходів із врахуванням системного ефекту з врахуванням оцінок прямого зниження втрат електроенергії у системі зовнішнього електропостачання.

Ключові слова: ЕЛЕКТРИЧНА ЕНЕРГІЯ, ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ, ТЯГОВА ПІДСТАНЦІЯ, ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ, ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ, ЕЛЕКТРОРУХОМИЙ СКЛАД

ANNOTATION

In the presented work, an analysis of the power supply systems of direct current trains of Ukrainian railways was carried out. The development of energy saving methods allows finding solutions based on several criteria for time-varying electricity tariffs, taking into account the level of reliability of power equipment. The existing energy saving potential in the energy supply system will allow to determine the effectiveness of energy saving measures taking into account the system effect, taking into account estimates of the direct reduction of electricity losses in the external power supply system.

Keywords: ELECTRIC ENERGY, ELECTRICAL SUPPLY, TRACTIONAL SUBSTATION, ENERGY EFFICIENCY, ENERGY SAVING, ELECTRIC ROLLING STOCK

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1. ЗАГАЛЬНА БУДОВА СИСТЕМИ ЕНЕРГОПОСТАЧАННЯ ДЛЯ ЖИВЛЕННЯ ЕЛЕКТРОТРАНСПОРТУ	8
1.1 Основні елементи тягової мережі.....	8
1.2 Загальні характеристики тягових підстанцій.....	16
2 АНАЛІЗ ПОТЕНЦІАЛУ ЗАСТОСУВАННЯ ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧИХ ЗАХОДІВ НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ.....	26
2.1 Аналіз характеру споживання електроенергії залізницею.....	26
2.2 Існуючі підходи до управління енергозбереженням в Україні.....	41
2.3 Методи енергозбереження у системах електропостачання тяги поїздів постійного струму.....	43
2.4 Методи енергозбереження за рахунок застосування раціональних режимів систем електропостачання тяги поїздів постійного струму.....	47
3 РОЗРОБКА ЗАХОДІВ З ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ЗАЛІЗНИЦЬ	51
3.1 Застосування енергозберігаючих заходів на базі метода аналізу ієрархій	51
3.2 Визначення норм витрати електроенергії для стаціонарних споживачів залізниць	54
3.3 Зменшення небалансів електроенергії у системах електропостачання постійного струму	65
ВИСНОВКИ	70
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	72
ДОДАТКИ	76

ВСТУП

Підвищення конкурентоспроможності та економічності роботи залізничного транспорту України неможливе без вирішення низки першочергових задач, серед яких: забезпечення раціональної технології перевізного процесу за енергетичними, економічними та екологічними критеріями; розвиток інфраструктури залізничного транспорту задля забезпечення швидкісного руху; вдосконалення рухомого складу; планування споживання енергетичних ресурсів; впровадження ефективних методів управління залізничним транспортом всіх рівнях виробничого циклу [1-3]. У цьому переліку особливо виділяється проблема енергозбереження в системах електропостачання потягів постійного струму. Це важлива складова у спільній проблемі раціоналізації перевізного процесу. Застосування ранніх методів визначення умов раціональних режимів систем тягового електропостачання, що ґрунтуються на одноставочних тарифах за спожиту електроенергію та не враховують рівень надійності регулювальних пристроїв у сучасних умовах лібералізації ринку електроенергії, вже не забезпечує оптимальних рішень. На сьогоднішній день практично відсутня теоретична база для вибору заходів щодо енергозбереження на залізничному транспорті.

Враховуючи сучасні умови, в різноманітних галузях, у тому числі на залізничному транспорті необхідно шукати резерви зниження собівартості перевізного процесу.

Слід зазначити, що залізниці працюють рентабельно й переважно забезпечують потреби громадського виробництва та населення перевезеннях. Проте стан виробничо-технічної бази та технологічний рівень перевезень за багатьма параметрами не відповідають європейським стандартам якості надання транспортних послуг та вже найближчим часом можуть стати гальмом для подальшого соціально-економічного розвитку країни.

На розвиток залізничного транспорту в Україні вплинула низка негативних факторів [4], зокрема:

- прогресуюче старіння основних фондів (більше 60%);
- відсутність державної підтримки інноваційного розвитку галузі та недосконала законодавча база для залучення інвестицій;
- низький рівень тарифів на перевезення пасажирів та відсутність дієвих механізмів компенсації збитків при наданні громадських послуг, що призводить до перехресного субсидування збиткових пасажирських перевезень за рахунок вантажних;
- випереджальне зростання цін на продукцію, що споживається залізничним транспортом, порівняно з темпами зміни тарифів на перевезення.

Великий вплив на рентабельність перевізного процесу робить динаміка зростання тарифів на енергоносії, і, зокрема, на електроенергію.

Потрібно зазначити, що робота з енергозбереження та зниження витрат на електроенергію, яка проводилася на Укрзалізниці за весь час існування незалежної України, дозволила при значному зростанні тарифів на електроенергію протягом останніх років утримувати витрати на електроенергію у загальних витратах на перевезення практично на одному рівні.

1 ЗАГАЛЬНА БУДОВА СИСТЕМИ ЕНЕРГОПОСТАЧАННЯ ДЛЯ ЖИВЛЕННЯ ЕЛЕКТРОТРАНСПОРТУ

1.1 Основні елементи тягової мережі

Залізничний транспорт споживає до 5% електроенергії всієї країни. Значна частина цієї енергії йде на тягу поїздів, частина – на живлення нетягових споживачів (станцій, депо, заводів, майстерень). Пристрої електропостачання, згідно з правилами технічної експлуатації мають забезпечувати безперебійний і безпечний рух поїздів з установленими швидкостями і за графіком, надійне живлення пристроїв зв'язку та централізованого блокування, інших об'єктів залізничного транспорту. Для реалізації електрозабезпечення залізниці мають відповідні технічні засоби і енергетичне господарство.

Основним лінійним підприємством в електропостачанні та енергетичному господарстві залізниці є дистанція електропостачання (ЕЧ). Дистанція обслуговує тягові підстанції і контактну мережу на лініях протяжністю від 200 до 300 км.

Система електропостачання електрифікованих залізниць складається з двох частин:

- зовнішньої системи електропостачання (електростанції, районні трансформаторні підстанції, мережа і лінії електропередачі);
- внутрішньої системи або тягової мережі, яка починається з тягової підстанції залізниці, що підключається до районної трансформаторної підстанції зовнішньої системи.

Тягову мережу (рис. 1.1.) складають тягові підстанції, фідери, контактна мережа, рейкові ланцюги і відсмоктувальна лінія. Струм, що протікає від тягової підстанції до електрорухомого складу, розподіляється між проводами контактної мережі. Повернення струму на підстанцію здійснюється через рейкові ланцюги, землю і відсмоктувальну лінію.

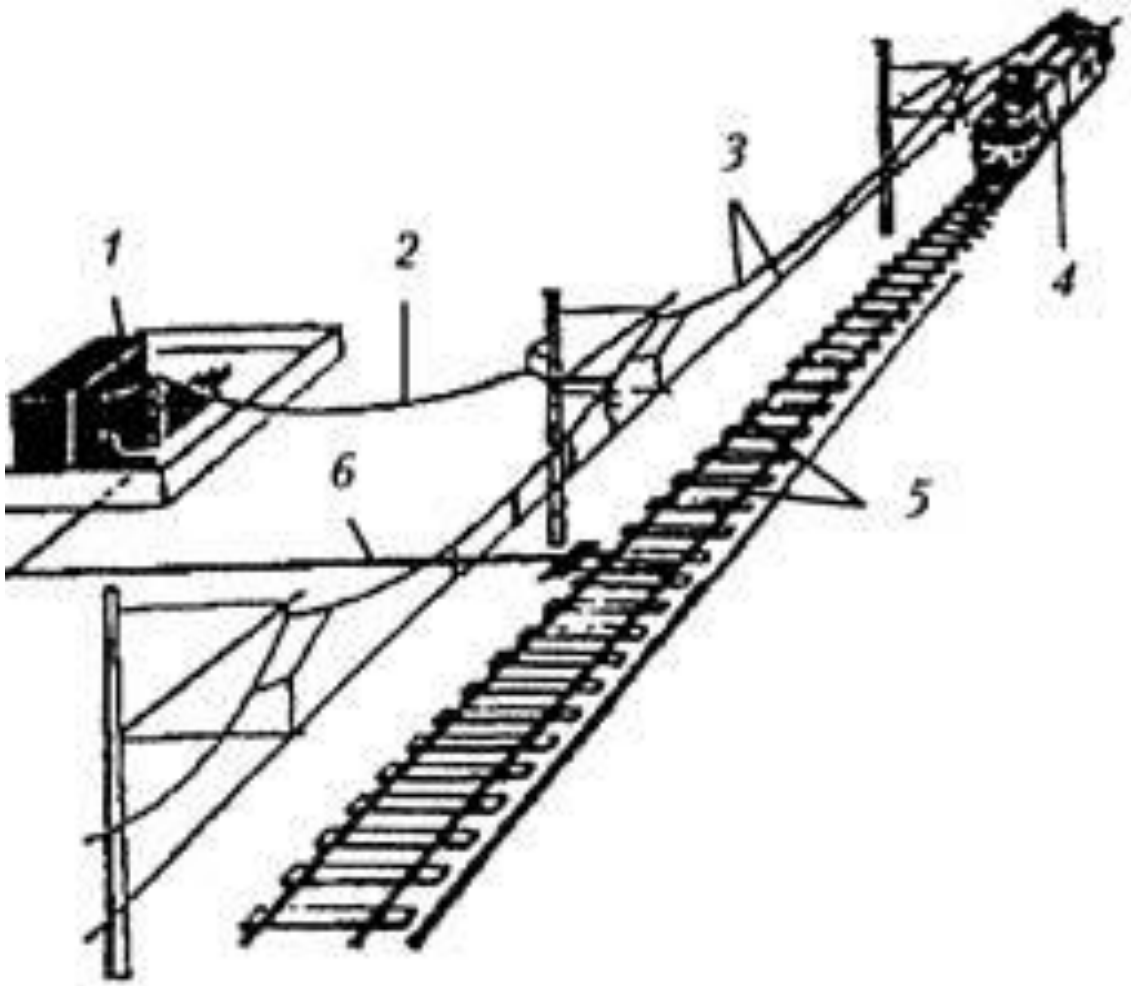


Рисунок 1.1 Основні елементи тягової мережі:

1 – тягова підстанція; 2 – фідер (живляча лінія); 3 – контактна мережа; 4 – електрорухомий склад; 5 – рейкова мережа; 6 – відсмоктувальна лінія

Тягові підстанції залізниць відносять до споживачів 1 категорії. Щоб забезпечити надійне функціонування електричної тяги, передбачається подвійне живлення тягової підстанції від двох незалежних джерел. У випадку живлення з одного джерела резервується паралельна лінія електропередачі від цього джерела.

Контактна мережа залізничної лінії підключається, як правило, до двох тягових підстанцій, від яких електрорухомий склад отримує двостороннє живлення.

На залізницях України, залежно від роду струму і способу живлення ним контактної мережі, застосовуються такі системи електротяги:

- система постійного струму, яка забезпечує напругу в контактній мережі 3 кВ (не нижче 2,7 кВ і не вище 4 кВ). Контактну мережу з'єднують живлячими проводами з шинами «+», а рейкову колію – відсмоктувальними проводами з шинами «-» тягових підстанцій. До недоліків системи відносять порівняно низьку напругу в тяговій мережі (3 кВ), яка обмежується максимально допустимою напругою, що має подаватись безпосередньо з контактної мережі на тягові двигуни без проміжного перетворення її на локомотиві. Крім того, в цій системі виникають значні блукаючі струми, що спричиняють електрокорозію підземних металевих споруд, і останні потребують спеціального захисту;

- система однофазного змінного струму промислової частоти 50 Гц, яка забезпечує напругу в контактній мережі 25 кВ (не нижче 21 кВ і не вище 29 кВ). Для рівномірного навантаження фаз системи зовнішнього електропостачання, яка подає на тягову підстанцію трифазний струм, недопущення викривлень напруги на шинах тягових підстанцій, до рейкової мережі приєднують одну і ту ж фазу трансформаторів, а в контактній мережі між кожною парою суміжних підстанцій для живлення тягової мережі використовують різні фази. Рейкова мережа завжди приєднана до фази *C*. Щоб не замикались у контактній мережі різні фази (*A* і *B*) влаштовують електричні розділення – нейтральні вставки.

На відміну від системи постійного струму, система однофазного струму значно простіша і більш економна. Порівняно висока напруга в контактній мережі і відповідно менші струми в ній дозволяють в 2,5-3 рази зменшити площу перерізу проводів контактної мережі, збільшити відстань між тяговими підстанціями. Тягові трансформатори, які встановлюються на електрорухомому складі, дозволяють постійно утримувати тягові двигуни паралельно включеними, що поліпшує тягові властивості електровоза. Тягові підстанції в цій системі перетворюються в звичайні трансформаторні, чим спрощується їх робота.

Контактна мережа призначена для подачі електроенергії від тягових підстанцій до електрорухомого складу і має забезпечити безперешкодне знімання струму локомотивами в умовах високих швидкостей руху і за будь-якої погоди.

Контактна мережа побудована у вигляді ланцюгових повітряних підвісок, що забезпечують мінімальне провисання контактного проводу. Найпростіша ланцюгова підвіска складається з:

- опор, висотою до 15 м, металевих або залізобетонних;
- консолей, розміщених на опорах і до яких через ізолятори підвішується несучий трос;
- несучого тросу, до якого за допомогою струн підвішується контактний провід;
- контактного проводу, призначеного для контакту із струмоприймачами локомотивів;
- струн, на яких підвішується контактний провід;
- фіксаторів, які утримують і фіксують контактний провід у певному положенні;
- ізоляторів, які ізолюють струмовідні проводи від опор та інших деталей підвіски.

Як показано на рисунку 1.2, на опорі 3 установлені консоль 4 і фіксатор 6. Контактний провід 1 підвішений на струнах 5 до несучого тросу 2.

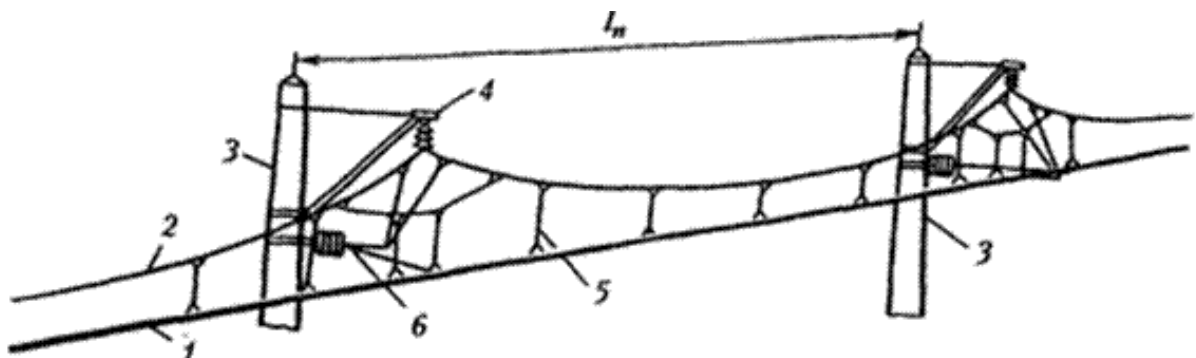


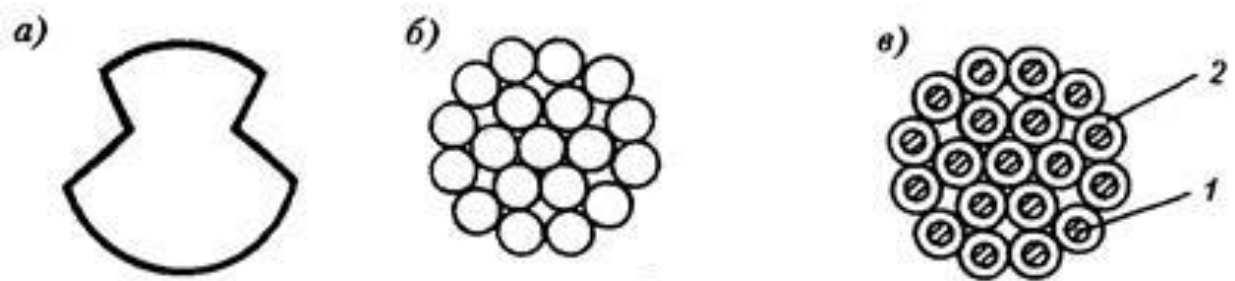
Рисунок 1.2 – Ланцюгова підвіска з консолями

В даній підвісці для кріплення несучого тросу застосовується консольний підтримуючий пристрій. Консоль складається з кронштейна, до якого кріпиться несучий трос, і тяги, яка підтримує кронштейн. Іноді консоль виготовляється у вигляді кронштейна з підкосами.

Часто замість консолей використовуються жорсткі або гнучкі поперечини.

Проводи контактної підвіски (контактний провід, несучий трос) повинні мати велику провідність і високу механічну міцність, особливо на головних коліях перегонів і станцій.

Найчастіше застосовуються мідні фасонні (МФ) контактні проводи із твердої електролітної міді (рис. 1.3, а), а також низьколеговані проводи марки НЛОл 0,04 Ф, в яких міститься 0,04% олова.



Рисункок 1.3 – Профілі проводів контактної мережі:

а – контактного проводу марки МФ; *б* – несучого троса марки М;
в – несучого троса марки ПБСМ: 1 – стальна серцевина проводу; 2 – мідна оболонка проводу

Фасонним провід називають тому, що він має два поздовжні пази для кріплення затискачами. На головних коліях перегонів і станцій, як правило, застосовують контактні проводи МФ-100 (площею перерізу 100 мм^2), а на станційних коліях – МФ-85 (85 мм^2). На залізницях постійного струму у випадках, коли площа перерізу проводу 100 мм^2 недостатня, підвішують два проводи МФ-100.

Для несучих тросів використовуються багатониточні проводи, сплетені з 19 дротинок (рис. 1.3, б і в). На головних коліях ліній постійного струму застосовують несучі троси марки М з чистої міді площею перерізу 120 мм². На всіх коліях змінного струму та станційних коліях постійного струму застосовують несучі троси марки ПБСМ-95 (площею перерізу 95 мм²) та ПБСМ-70 (70 мм²) – біметалеві (сталемідні) проводи із дротинок, які мають сталеву серцевину і мідну оболонку.

Струни ланцюгової підвіски виготовляють із біметалевого сталевомідного проводу діаметром 4 мм, відстань між точками кріплення їх на контактному проводі не має перевищувати 10 м.

Ізолятори застосовують тарільчаті (фарфорові і скляні) та стержневі (фарфорові і полімерні). Полімерні ізолятори більш міцні і компактніші, але дорожчі, ніж фарфорові і скляні.

Відстань між сусідніми опорами називають прогоном, вона визначається типом підвіски, маркою і площею перерізу проводів, радіусом кривих, розою вітрів та іншими факторами, буває від 30 до 70 м.

Опори, до яких кріпляться кінці контактної проводу і несучого троса, називаються анкерними. Відстань між сусідніми анкерними опорами називають анкерною ділянкою. Анкерні ділянки бувають довжиною до 1600 м, в кривих вони менші.

Ланцюгові контактні підвіски бувають одинарні і подвійні.

Для більш рівномірного зношування пластин полозів струмоприймачів контактний провід розміщують у плані зигзагом, посуваючи його за допомогою фіксаторів змінно проти кожної опори на 300 мм (на кривих до 400 мм) у певний бік від осі колії.

Залежно від розміщення в плані контактної проводу і несучого троса, ланцюгова підвіска буває вертикальна, напівкоса і коса. Якщо несучий трос розміщений у плані точно над контактним проводом, то така підвіска називається вертикальною, застосовується тільки на кривих ділянках. Якщо несучий трос підвішується строго над віссю колії, а контактний провід –

зигзагом, то така підвіска називається напівкосою, застосовується на прямих ділянках колії.

У проводах контактної підвіски необхідно підтримувати постійний натяг, щоб забезпечити мінімальні стріли провисання контактного проводу. За способом натягування проводів ланцюгові підвіски бувають:

- декомпенсовані, коли контактний провід і несучий трос жорстко закріпленні на кінцевих (анкерних) опорах. Натягування в них і стріла провисання змінюється в повній залежності від температури, вітрового навантаження, ожеледиці; застосовувались раніше на анкерних ділянках з невеликими швидкостями руху поїздів, на залізницях України більше не використовуються;

- напівкомпенсовані, коли за допомогою спеціальних вантажів (компенсаторів) автоматично підтримується постійне натягування контактного проводу незалежно від зміни температури, а несучий трос жорстко закріплюється на опорах;

- компенсовані, коли за допомогою компенсаторів у контактному проводі і несучому тросі автоматично підтримується постійне натягування. Вантажний компенсатор у напівкомпенсованих і компенсованих підвісках складається з вантажу і декількох блоків, через які за допомогою тросу вантаж з'єднується з проводами. В компенсованій підвісці контактний провід і несучий трос, як правило, мають спільний компенсатор.

Щоб забезпечити плавний перехід полоза струмоприймача з контактного проводу однієї анкерної ділянки на суміжну без порушення контакту при чисто механічному (неелектричному) їх розділенні влаштовують неізолюючі спряження (сполучення) анкерних ділянок.

Для надійної роботи і зручності обслуговування контактну мережу поділяють на окремі електричні секції за допомогою секційних ізоляторів, повітряних проміжків і нейтральних вставок. Такий розподіл називається секціонуванням.

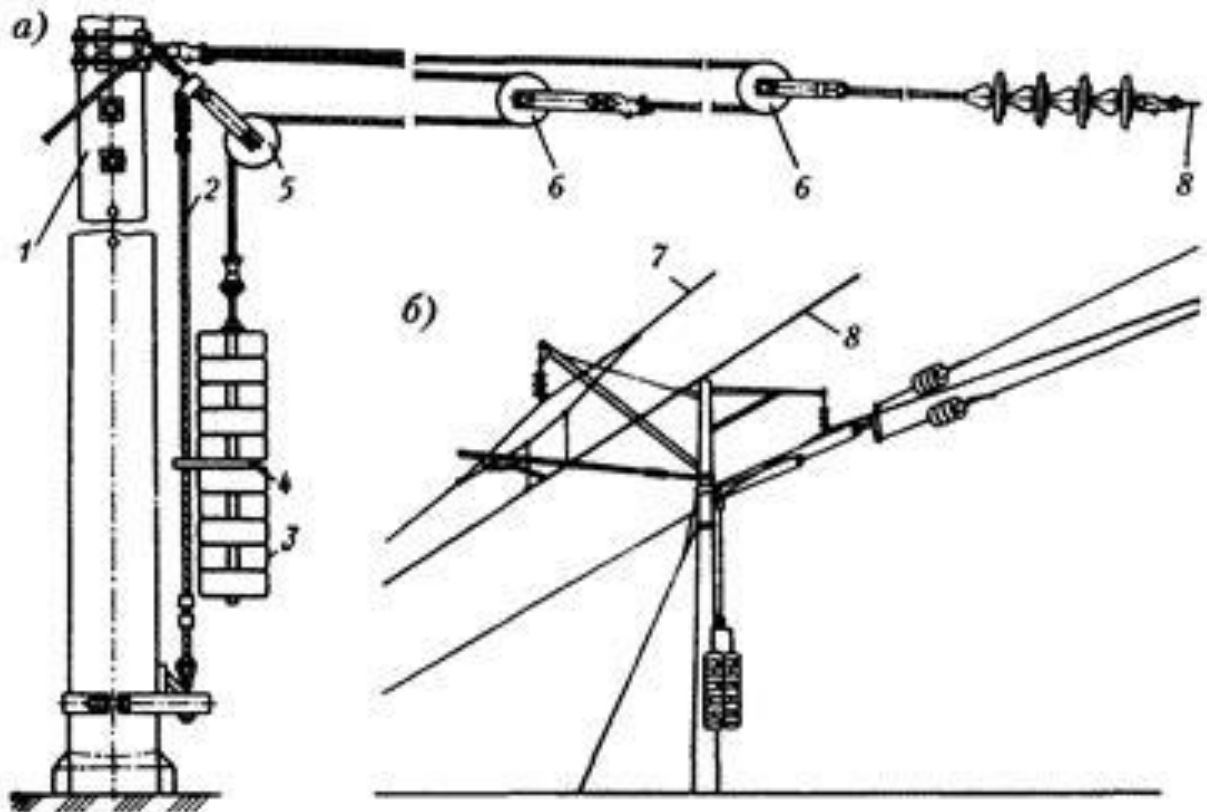


Рисунок 1.4 – Анкерівка контактної провуду напівкомпенсованої ланцюгової підвіски:

а – схема анкерівки;

б – загальний вигляд напівкомпенсованої ланцюгової підвіски;

1 – залізобетонна опора; 2 – нерухомий блок; 3 – вантаж; 4 – обмежувач;
5 – рухомі блоки; 6 – контактний провід; 7 – несучий трос; 8 – коромисло

Нейтральна вставка (рис. 1.5) – це окрема контактна підвіска мінімальної довжини, в яку не подається напруга (тому називається нейтральною), влаштовується між двома секціями з різними фазами струму і з двома ізолюючими повітряними проміжками для того, щоб струмоприймачем не допустити електричного замикання цих проміжків і тим самим замикання суміжних секцій. При проходженні струмоприймача в зоні першого повітряного проміжку нейтральна вставка сприймає напругу першої прилеглої секції, в зоні другого повітряного проміжку – напругу другої секції, а під час проходження у власній зоні – вставка знеструмлена.

Нейтральну вставку поїзд проходить без струму за інерцією. Для того, щоб поїзд не зупинився в зоні нейтральної вставки, він повинен мати відповідну швидкість. Якщо поїзд вимушено зупинився в цій зоні, його виводять, ввімкнувши спеціальний роз'єднувач 5 (рис. 1.5). Щоб машиніст знав, де потрібно вимкнути і знову увімкнути тягові двигуни, встановлюють попереджувальні сигнальні знаки. Знак «Вимкнути струм» встановлюють за 50 м до початку нейтральної вставки, а після нейтральної вставки знаки «Увімкнути струм на електровозі» – через 50 м, «Увімкнути струм на електропоїзді» – через 200 м.

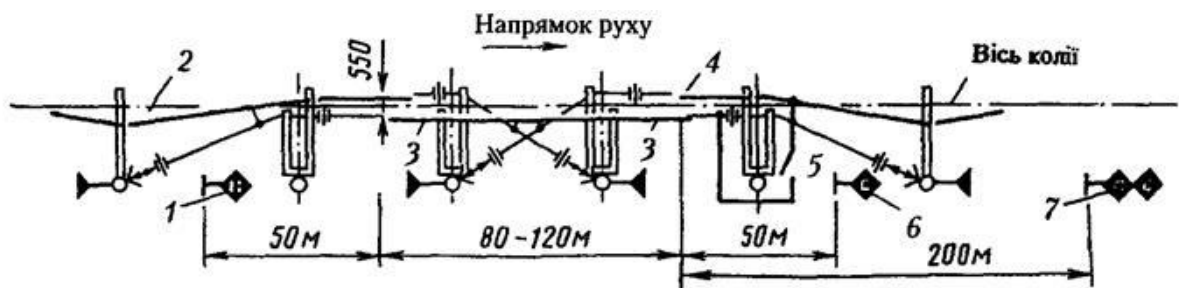


Рисунок 1.5 – Нейтральна вставка

Довжина нейтральної вставки розраховується таким чином, щоб не допускалось одночасне замикання контактних проводів нейтральної вставки з проводами прилеглих до неї секцій. Передусім вона залежить від виду електрорухомого складу: за використання на лінії тільки електровозів, приймається 50 м (з урахуванням застосування кратної тяги), при електропоїздах — 200 м.

1.2 Загальні характеристики тягових підстанцій

Тягова підстанція (ТП) виконує ключову задачу по перетворенню електроенергії з метою її подачі в контактну мережу для живлення електротранспорту (наземного і підземного). Це окремий напрямок техніки, головна функція якої полягає в зниженні значення напруги, а при необхідності

і в випрямленні струму, якщо передбачається експлуатація установки, що працює на постійному струмі.

Тягова підстанція – це окрема різновид обладнання, яке являє собою джерело електроенергії для всіх видів електротранспорту. Але для кожного напрямку передбачається особливий вид подібної техніки. Розташовуватися можуть ТП по всій протяжності дороги з інтервалом від 20 до 50 км. Періодичність, з якою монтується тягова підстанція, визначається декількома факторами, серед них: профіль залізниці, розміри і цільове призначення транспортного засобу.

В якості основних напрямків, які передбачають установку даного виду обладнання, виступають:

- залізничний транспорт;
- метрополітен;
- наземний електротранспорт (трамваї, тролейбуси).

Тягова підстанція може бути представлена різними виконаннями, відмінними за технічними характеристиками. При цьому доцільність установки того чи іншого варіанту визначається відповідністю основних параметрів рівню передбачуваного навантаження, а також умов експлуатації.

Види тягових підстанцій.

Тягова підстанція в першу чергу підрозділяється на дві групи:

- 1) Постійного струму;
- 2) Змінного струму.

Тягові підстанції постійного струму включає обладнання, яке розраховане на 6-220 кВ. При цьому живлення здійснюється по ЛЕП повітряного і кабельного типу. У разі коли напруга нижче порога 110 кВ, потрібно пониження, відповідно, електроенергія спочатку проходить етап зниження значення електричних параметрів за участю трансформатора. В інших ситуаціях енергія направляється відразу в розподільчий пристрій. Тягова різнотипова підстанція змінного струму за великим рахунком подібна з обладнанням цього роду, функціонуючим на постійному струмі, за єдиним

винятком, який полягає у відсутності перетворюючого вузла для випрямлення електричних характеристик.

Тягова різнотипова підстанція зустрічається і в інших виконаннях, поділ при цьому здійснюється за цільовим призначенням транспорту:

1) Обладнання для залізниці. Зустрічається в наступних варіантах:

- Опорна. Може виступати в якості джерела живлення для інших установок;

- Тупикова - отримує електроенергію від підстанції, що стоїть поруч;

- Проміжна - живиться від двох найближчих установок.

2) Тягові підстанції трамвая та тролейбуса. Устаткування даного виду також існує в декількох виконаннях:

- з необхідністю участі обслуговуючого персоналу;

- повністю автоматизовані;

- тягові підстанції трамвая та тролейбуса, які не вимагають участі в роботі обладнання персоналу і являють телекеровані техніку.

3) Установки для метрополітену. Розрізняють такі види подібної техніки:

- тягові;

- понижувальні;

- тягово-знижувальні.

У першому випадку представлена тягова розподільна підстанція, живлення якої здійснюється за допомогою міських електромереж. Другий з названих варіантів передбачає отримання струму великих значень від тягової установки, який надалі знижується до рівня 230-400 В, чого достатньо для силових і освітлювальних приладів.

Технічні характеристики тягових підстанцій.

Тягові підстанції трамвая, метро і тролейбуса та залізничного транспорту мають ряд параметрів, за якими підбирається необхідний варіант. До речі, якщо порівнювати їх з таким обладнанням, як стовпові трансформаторні підстанції (СТП), які живляться змінним струмом і

представлені виключно лише тупиковим варіантом конструкції, то асортимент буде вельми широкий, що дещо ускладнює вибір.

Для орієнтації у великій кількості виконань потрібно чітко уявляти, які навантаження будуть надаватися на техніку даного виду, відповідно до чого визначаються параметри обладнання:

- величина опору і напруги на шинах, куди подається вже випрямлений струм;
- тягова підстанція метро, залізниці та іншого електротранспорту характеризується внутрішнім опором, а також опором відсисаючого фідера і згладжує вузла, за допомогою даних величин можна отримати значення опору всієї установки, підсумувавши їх;
- тягові підстанції метро і залізниць відрізняються за кількістю використовуваних в конструкції трансформаторів і розподільних пристроїв;
- напруга всієї установки є розрахунковою величиною і визначається з формул;
- потужність короткого замикання.

Для порівняння, визначальними параметрами для такого обладнання, як стовпові трансформаторні підстанції, є: загальна потужність, а також значення вищого і нижчого напруги.

Існує кілька виконань такої техніки, відмінних за даними параметрами: з напругою 6 або 10 кВ по високій стороні, а також з напругою 0,23 або 0,4 кВ по низькій стороні. За такими ж критеріями підрозділяється і мачтова трансформаторна підстанція.

Структурна схема тягових підстанцій. Існує декілька найбільш поширених способів підключення залежно від того, які навантаження планується подавати, і якого типу об'єкти будуть підключатися. У результаті може змінюватися склад обладнання.

Розподільний пристрій включає в себе три ділянки, причому конструкцією передбачений всього один вимикач. На вводі встановлюється тільки один роз'єднувач, що також сприяє спрощенню схеми. Немає

необхідності у використанні резервного обладнання. Враховуючи відмінності такого обладнання, як мачтова трансформаторна підстанція, схема буде виглядати дещо інакше.

Рекомендації по вибору. Основним критерієм ефективності використання того чи іншого типу установки є відповідність параметрів умовам експлуатації, зокрема, рівню навантаження, що подається. Якщо підбирається тягова або стовпова трансформаторна підстанція, її типовий проект передбачає необхідність виконання наступних дій:

- 1) вибір схеми підключення і з'єднання основних вузлів;
- 2) визначення найбільш відповідного варіанту струмоведучих апаратів та вузлів;
- 3) за розрахунковим значенням електричних параметрів підбираються основні вузли такого обладнання (розподільні пристрої, трансформатори, вимикачі, роз'єднувачі, елементи захисту, зарядних акумуляторів).

Аналогічні дії виконуються у випадку, коли вибирається мачтова трансформаторна підстанція, відповідно, її типовий проект також буде в більшій мірі складатися з розрахункової частини.

Нюанси монтажу та нормативна документація. Основна особливість принципу установки техніки, яка використовується для живлення залізничного електротранспорту, полягає в тому, що всі роботи виконуються за безпосередньої участі електромонтажних поїздів. У перелік ключових завдань входить безпосередньо сам монтаж підстанції тягового типу, а разом з тим і постів секціонування, телемеханічного обладнання та контактної мережі. Таке обладнання, як стовпові трансформаторні підстанції, підключаються трохи іншим способом, враховуючи, що всі основні вузли монтуються на опорі.

Згідно з СТН ЦЕ 12-00 «Норми з виробництва і приймання будівельних і монтажних робіт під час електрифікації залізниць» визначають ряд вимог, що пред'являються до монтажу подібного обладнання. Для порівняння мачтова трансформаторна підстанція передбачає підготовку котловану для установки

опори, перевірку точності установки по схилу, монтаж основних вузлів на опорній конструкції, підключення всіх елементів.

Як вже зазначалось, системи тягового електропостачання живлять споживачів залізничного транспорту та сторонніх споживачів. Структуру споживання електроенергії наведено на рисунку 1.6.

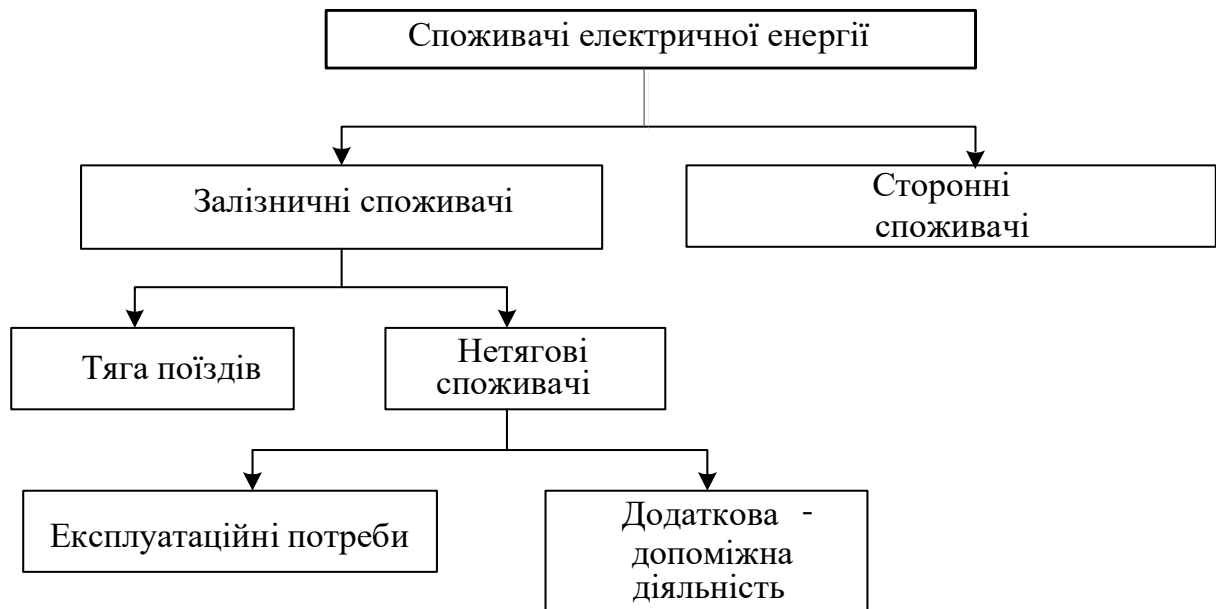


Рисунок 1.6 – Структура споживання електроенергії

Залізниці в Україні отримують електроенергію лініями 35, 110, 220 кВ. Спрощену схему СТЕ постійного струму наведено на рисунку 1.7 [15]. До шин 10 кВ підключають перетворювальний агрегат.

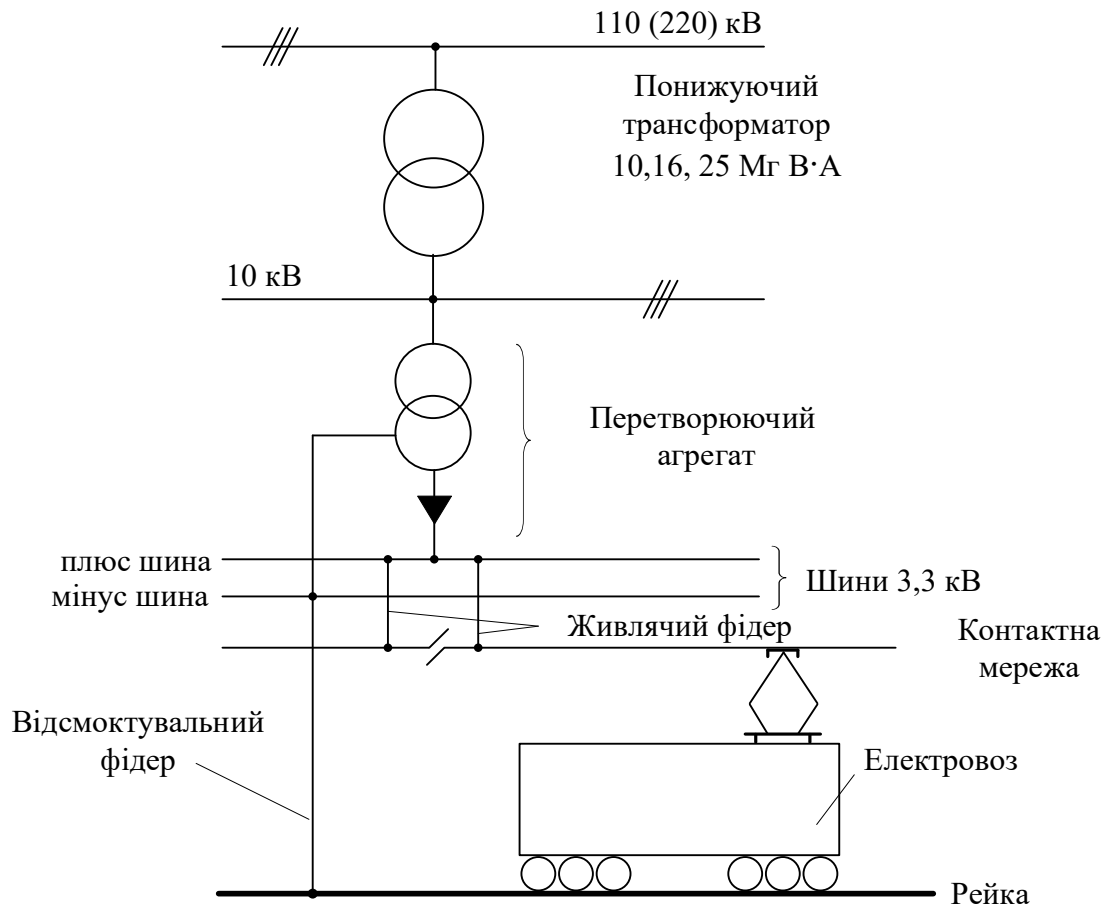


Рисунок 0.7 – Принципова схема СТЕ постійного струму

Також, на сьогоднішній день існують централізовані та розподілені схеми живлення потягів. У централізованих схемах передбачають на тяговій підстанції не менше двох перетворювальних агрегатів. Під час розподіленого живлення всі підстанції мають по одному агрегату. У цьому скорочується відстань між підстанціями. На даний момент в Україні довжина залізниць, електрифікованих за системою постійного струму становить понад 4700 км.

В експлуатаційній практиці можливі різноманітні схеми живлення контактної мережі (рис. 1.8, 1.9). На одноколієних ділянках застосовуються роздільні, консольні та зустрічно-консольні схеми харчування, на двоколієних - роздільна, вузлова, паралельна, зустрічно-консольна, зустрічно-кільцева схеми.

Вибір схеми живлення тяги поїздів проводять за критеріями надійності та економічності.

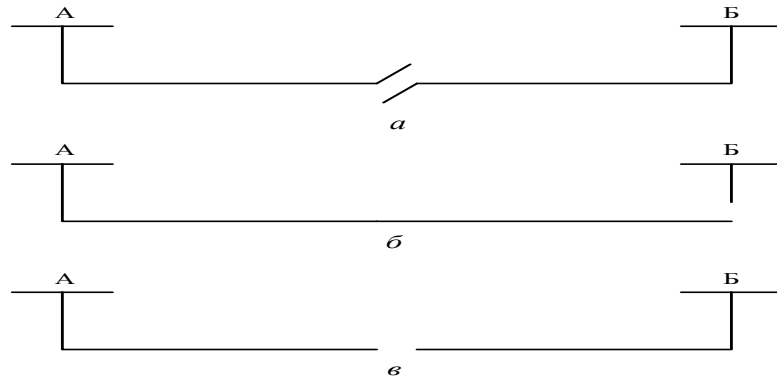


Рисунок 0.8 – Схеми живлення одноколійної ділянки контактної мережі:

a – роздільна схема, *б* – консольна, *в* – зустрічно-консольна

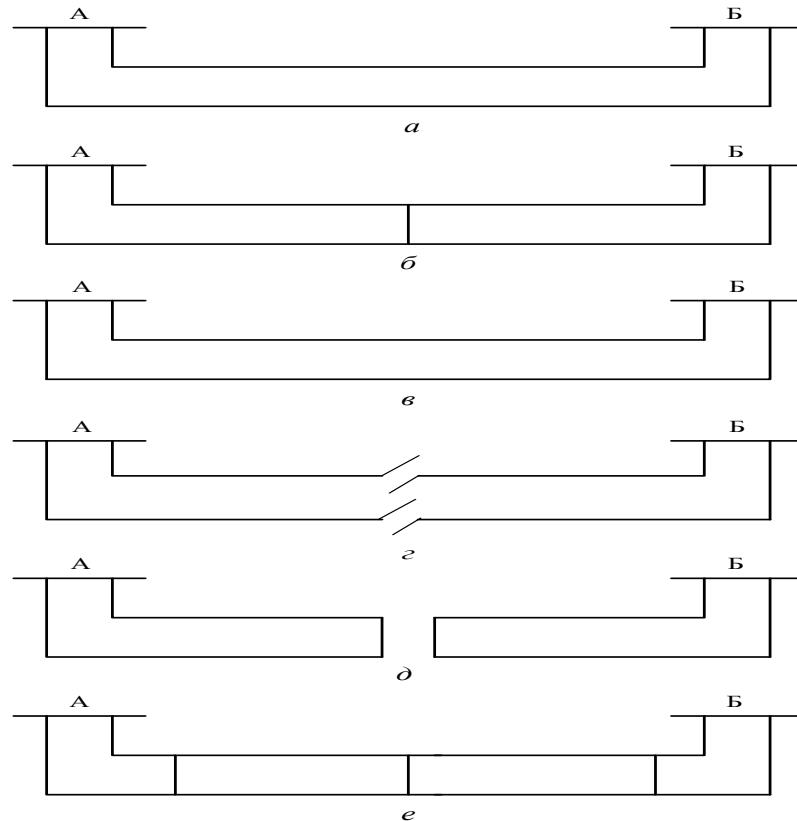


Рисунок 0.9 – Схеми живлення контактної мережі двоколійної ділянки:

a – роздільна схема, *б* – вузлова, *в* – консольна, *г* – зустрічно-консольна,

д – зустрічно-кільцева, *e* – паралельна

На залізницях України паралельна схема живлення контактної мережі є найпоширенішою.

Математична модель роботи системи електропостачання потягів постійного струму складається з наступних елементів:

- схема заміщення СТЕ (рис. 1.10);
- спосіб подання навантажень ЕРС;
- аналітичні вирази, що пов'язують електричні параметри СТЕ.

Опору рейкової мережі не зазначено, оскільки воно при регулюванні режимів не змінюється.

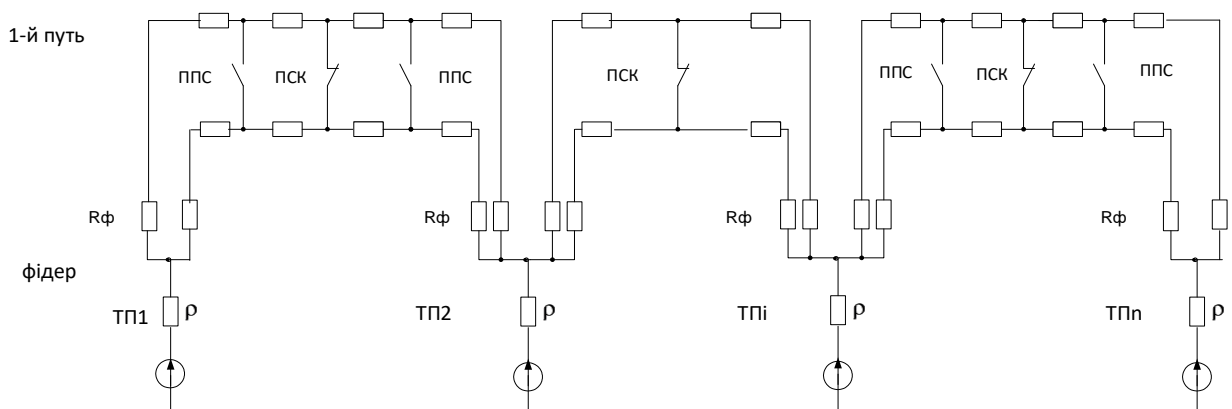


Рисунок 1.10 – Схема заміщення електрифікованої ділянки постійного струму

Подана на рисунку 1.10 схема заміщення [17] враховує зв'язок міжпідстанційних зон та наявність на кожній з них ПСК або ППС. Тягові підстанції представлені у вигляді джерел ЕРС та внутрішніх опорів. Опір фідерів - за допомогою опорів. Величина ЕРС тягових підстанцій приймається рівною напругою холостого ходу (останні визначаються за відомими зовнішніми характеристиками тягових підстанцій). Контактна мережа представлена у схемі заміщення активними опорами. Навантаження ЕРС задаються як джерела струму. Внутрішні опори тягових підстанцій можна отримати аналітичним шляхом за параметрами силового устаткування.

Припустимо, що контактна підвіска є лінійним елементом. З огляду на це можна застосувати принцип суперпозиції – навантаження від кількох поїздів може бути представлена як сума навантажень окремих поїздів.

Для завдання способу завантаження СТЕ розіб'ємо електрифіковану ділянку довжиною L на M відрізків, на яких ймовірність появи двох і більше поїздів дорівнює нулю. На кожному такому відрізку поїзд може бути безумовною ймовірністю $p_1(i)$. Якщо на i -му відрізку тягової мережі знаходиться поїзд, то на j -му ділянці тягової мережі поїзд перебуватиме з умовною ймовірністю $p_1^*(i, j)$. Струм ЕРС буде залежати від номера елементарного відрізка. Крім того, на кожному елементарному відрізку поїзд може бути або відсутнім. З цих міркувань струм поїзда можна як функції часу $I_{\pi}(i, t)$. Розподіл струму поїзда, що знаходиться на i -му відрізку, на інших відрізках тягової мережі в даній дисертаційній роботі розраховується через функцію струморозподілу $\psi(s, i)$, яка визначає частку струму від поїзда, що знаходиться на i -му відрізку, що проходить через перетин контактної мережі S .

2 АНАЛІЗ ПОТЕНЦІАЛУ ЗАСТОСУВАННЯ ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧИХ ЗАХОДІВ НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ

2.1 Аналіз характеру споживання електроенергії залізницею

Залізниці України характеризують такі показники (табл. 2.1) [14]є

Таблиця 2.1 – Основні показники електрифікації залізничного транспорту України

Показник	Одиниця вимірювання	Кількість
1	2	3
Експлуатаційна довжина електрифікованих ділянок, в т.ч. змінного струму 25 кВ 50 Гц	км	9 877,09 5 112,58
Питома вага електрифікованих ліній від загальної довжини мереж	%	45,5
Питома вага електротяги в експлуатаційній роботі	%	89,7
Споживання електроенергії залізницями України, в т.ч. на електротязі	млрд. кВт·ч	5,739 4,834
Питома вага залізниць у загальному споживанні України в т.ч. електротяга	%	3,9 3,0
Відпустка електроенергії стороннім споживачам	млрд кВт·ч	6,561
Питома вага переробки електроенергії для сторонніх споживачів від загальної переробки	%	51,5
Собівартість: 10 т·км вантажних перевезень 10 пас·км пасажирських перевезень	коп.	97,34 220,30
Питома витрата умовного палива: електрична тяга тепловозна тяга	кг у.т. на 10 000 т·км.бр.	39,65 87,8
Питома витрата електроенергії на тягу	кВт·год на 10 000 т·км.бр.	122

Структура споживання електроенергії мережами залізниць представлена у табл. 2.2.

Таблиця 2.2 – Структура споживання електроенергії залізницями України

Залізниця	Об'єм надходження (з втратами)	Технологічні втрати електроенергії в локальних мережах	На власне споживання залізниць		Передача електроенергії стороннім організаціям	
			всього	в т.ч. залізничним споживачам	всього	в т.ч. споживання сторонніми споживачами
			млн кВт·год	млн кВт·год	млн кВт·год	млн кВт·год
Донецька	2159,8	103,0	801,6	162,2	1 255,2	112,3
Львівська	1 521,6	53,6	545,0	94,3	922,4	105,8
Одеська	1 744,1	49,3	1 154,3	107,1	540,5	68,7
Південна-Західна	2 337,0	69,7	1 177,5	158,5	1 089,8	179,9
Південна	1 263,5	58,0	575,9	108,6	629,6	93,3
Придніпровська	2 523,8	59,0	1 127,0	193,4	1 337,8	142,7
Укрзалізниця	11 549,6	392,6	5 381,3	824,1	5 775,3	702,7

Структура споживання електроенергії залізницями:

- електротяга поїздів – 4 833,9 млн. кВт·год., що становить 84,2 % загального споживання;
- експлуатаційно-виробниче споживання – 858,5 млн. кВт·год. або 15% від загального споживання;
- комунально-побутове споживання – 46,8 млн. кВт·год, або 0,8 % загального споживання.

Вся витрата електроенергії для стаціонарних споживачів складається з двох частин – виробниче споживання з основної діяльності залізниць та комунально-побутове споживання.

Орієнтовний перелік споживачів електричної енергії, які належать до основної експлуатаційної діяльності, підсобно-допоміжної діяльності та комунально-побутових споживачів, представлений нижче в табл. 2.3. Така структура відповідає чинній номенклатурі витрат коштів на основну діяльність залізниць [86, 87] з електроенергії. Згідно з інструкціями Міненерго України витрати електроенергії гуртожитків належать до групи "населення".

Витрата електроенергії для акціонерних підприємств відноситься до сторонніх для залізничного транспорту споживачів.

Таблиця 2.3 – Структура витрати електроенергії для стаціонарних споживачів Укрзалізниці

Назва служби	Виробниче споживання на виконання основної експлуатаційної діяльності залізниць (перевізна робота)	Виробниче споживання для підсобно-допоміжної діяльності залізниць та інші види продукції та робіт	Комунально-побутові споживачі
1	2	3	4
Локомотивного господарства	Локомотивне депо Моторвагонне депо Пункт технічного обслуговування та екіпірування локомотивів	Дорожні лабораторії. Ремонтно-механічні майстерні, що випускають товарну продукцію	Будинок локомотивних бригад Їдальня Оздоровчий
Вагонного господарства	Вагонне депо та ділянка Вагоно-колісна майстерня Механізований пункт технічного відчіпного ремонту Пункт промивання вагонів Промивально-пропарювальні станції Пункт підготовки вагонів під перевозження	Контори обслуговування пасажирів	Оздоровчий пункт Їдальня
Колії	Дистанція колії Мостовипробувальна станція Дорожня лабораторія Шляхова машинна станція Шляхом-випробувальна станція Габаритно-дослідний. станція Геофізична станція Дистанція лісонасаджень	Щебневий завод Шпалопросочний завод Рейсозварювальний поїзд Баластові кар'єри Завод залізобетонних шпал та виробів	–
Будівельно-монтажних робіт та цивільних споруд	Виробнича база Дистанція цивільних споруд	Завод залізобетонних конструкцій Насосна станція Станція перекачування стічної води Очисні споруди стічної води Фільтрувальні станції Майстерні	Житловий фонд Дитячі оздоровчі заклади Профілакторій Стадіон Клуб Інші житлово-комунальні споживачі

Продовження таблиці 2.3

Електропостачання	Район контактної мережі Район електричних мереж Ремонтно-ревізійний цех Майстерня База олійного господарства Дистанція електропостачання Дорожня електротехнічна лабораторія Власні потреби тягової підстанції	Електромеханічні майстерні, що виготовляють товарну продукцію Електростанція	
Пасажирська	Вокзали Пасажирські вагонні депо Пункти технічного обслуговування вагонів Центральне залізничне бюро Платформа Дорожнє бюро обліку та розподілу місць у пасажирських перевезеннях Квитки Майстерня Гараж		
Споживачі обчислювальної техніки	Обчислювальний центр, периферійний пункт системи "Експрес"		
Комерційної Роботи		Механізована Дистанція вантажно-розвантажувальних робіт Дорожні майстерні, які випускають товарну продукцію Вантажний цех станції Зарядна станція Пункт льоду	
Воєнізованої охорони	Воєнізовані загони Адміністративні будівлі ВОХР		
Інші організації	Контрольно-розрахункові групи Адміністративно-господарські будівлі управлінь та ділянки залізниці ДЦНТІ		Оздоровчо-спортивні бази та споруди та інші підприємства та організації, які не входять до вищезазначених груп

Узагальнюючим показником ефективності використання електроенергії на залізничному транспорті є питома витрата електроенергії на одиницю продукції.

На залізничному транспорті успішно діяла «Програма енергозбереження на залізничному транспорті на період 1996-2010 рр.» [2]. У цій галузевій програмі зазначені напрями економії електроенергії на залізничному транспорті, які враховують специфіку залізниць як споживача енергетичних ресурсів (наявність електрифікації на постійному та змінному струмі, розподілений характер споживання електроенергії, рухоме навантаження тощо). Енергетична та економічна ефективність роботи систем електропостачання залізниць залежить від багатьох факторів. Серед них можна назвати:

- тип електрорухомого складу,
- організація руху поїздів,
- режими пристроїв електропостачання.

Дані складові взаємопов'язані та взаємно впливають одна на одну.

Обсяг виконаної роботи на залізниці характеризується виконаним вантажообігом та часом доставки вантажів. Перший показник залежить від кількості поїздів та від їхньої маси. Характер зміни числа поїздів, їх маси, міжпоїздового інтервалу, а також тип електрорухомого складу, профіль ділянки в сукупності впливають на навантаження тягових підстанцій. Час доставки вантажів визначає потреба у рухомому складі, кількість поїздів, які одночасно можуть перебувати на даній ділянці.

Головним резервом економії електроенергії на залізницях України на етапі експлуатації в даний час є застосування енергозберігаючих технологій. Енергетична складова у загальних експлуатаційних витратах Укрзалізниці є досить великою і досягає 20 %. Тому економне та раціональне використання паливно-енергетичних ресурсів має надзвичайно велике значення.

Економія електроенергії передбачає, насамперед, зменшення втрат електроенергії у всіх ланках системи електропостачання та у самих електроприймачах залізничного транспорту [19, 20]. Основними шляхами зниження втрат електроенергії на підприємствах залізничного транспорту є [3, 13, 19, 22]:

1) раціональна побудова системи електропостачання за її реконструкції, що включає застосування раціональних:

- напруг;
- потужності та числа трансформаторів на тягових підстанціях (ТП);
- загальної кількості трансформацій;
- місця розміщення ТП;
- схеми електропостачання;
- компенсації реактивної потужності та ін;

2) зниження втрат електроенергії у діючих системах електропостачання, що включає:

- обмеження холостого ходу електроприймачів;
- модернізацію існуючого та застосування нового, більш економічного та надійного технологічного та електричного обладнання;
- підвищення якості електроенергії;
- застосування економічно доцільного режиму роботи силових трансформаторів;
- автоматичне керування освітленням протягом доби;
- застосування раціональних способів регулювання режимів роботи насосних та вентиляційних установок та ін;

3) нормування електроспоживання, розробка науково обґрунтованих норм питомих витрат електроенергії на одиницю продукції;

4) складання електробалансів;

5) організаційно-технічні заходи, які розробляються безпосередньо кожному залізничному підприємстві з урахуванням його специфіки.

Організаційні заходи, створені задля економії ПЕР, безумовно, дали позитивний ефект, але на сьогодні себе практично вичерпали [10]. Подальший пошук енергозберігаючих заходів необхідно здійснювати у напрямі раціоналізації роботи господарства електрифікації та електропостачання.

Виконання програми енергозбереження на залізничному транспорті господарством електропостачання дозволило за один досліджуваний рік зменшити споживання електроенергії на 7,61 млн кВт·год.

Найбільш ефективними енергозберігаючими заходами щодо господарства електропостачання та електрифікації Укрзалізниці у довоєнні часи були [14]:

1. Впровадження економічних світильників, ламп та автоматів керування зовнішнім освітленням – 2,4 млн кВт·год (1,6 млн.грн.).

2. Відключення з роботи за одним тяговим агрегатом або тяговим трансформатором залежно від поїзної ситуації – 1,6 млн кВт·год (1,0 млн.грн.);

3. Впровадження перетворювальних агрегатів з 12-ти пульсовими випрямлячами на тягових підстанціях постійного струму – 0,4 млн кВт·год (0,2 млн грн);

4. Застосування стаціонарної (замість пересувної) тягової підстанції – 0,5 млн. кВт.год (0,3 млн грн).

5. Зменшення втрат електроенергії у тяговій мережі за рахунок застосування пункту живлення контактної мережі – 0,1 млн кВт·год (0,08 млн грн).

Обсяги економії електроенергії за рахунок впровадження енергозберігаючих заходів щодо господарства електропостачання та електрифікації Укрзалізниці наведено у таблиці 2.4.

Здебільшого зусилля всіх залізниць спрямовані саме на раціоналізацію роботи систем електропостачання тяги [13]. Питання підвищення енергетичної та економічної ефективності електротягових мереж завжди були у полі зору багатьох науковців і спеціалістів. Наприклад, у роботах [19, 23-26] було закладено рекомендації щодо побудови енергоефективних систем

електропостачання тяги поїздів. Для системного підходу до проблеми енергозбереження потрібна розробка енергетичної стратегії залізниць України [18, 19].

Таблиця 2.4 – Обсяги економії електроенергії за рахунок впровадження енергозберігаючих заходів щодо господарства електропостачання

Заходи	Од. вим.	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Організаційно-технічні заходи	млн. кВт.год	25,67	23,66	23,15	20,72	24,15	6,66	-	-	-	0,64
	млн.грн.	4,28	4,37	4,20	4,41	5,74	2,30	-	-	-	0,42
Програма енергозбереження	млн. кВт.год	2,43	11,24	15,20	13,00	17,56	43,85	16,63	13,77	7,02	6,97
	млн.грн.	0,68	1,85	2,80	2,16	4,07	12,14	5,46	7,20	4,70	4,4
Усього	млн. кВт.год	28,11	34,90	38,35	33,72	41,70	50,52	16,63	13,77	7,02	7,61
	млн.грн.	4,96	6,22	7,00	6,57	9,81	14,45	5,46	7,20	4,70	4,82

Зараз при виборі енергозберігаючих заходів необхідно звертати увагу не лише на показники енергетичної ефективності систем електропостачання тяги. На перше місце за важливістю виходять показники економічної ефективності. Лібералізація ринку електроенергії, реформування електроенергетики України докорінно позначилося на залізничному транспорті. Залізниці України як кваліфіковані споживачі електроенергії [18] отримали можливість обирати оптимальний для себе варіант закупівлі електроенергії.

На всіх без винятку залізницях України ведеться плідна робота щодо впровадження прогресивних методів закупівлі електроенергії, закупівлі електроенергії з ОПЕ [15]. За поточний рік витрати залізниць на купівлю активної електроенергії (у тому числі на придбання електроенергії безпосередньо локомотивними службами Донецької та Південно-Західної залізниць у постачальника за нерегульованим тарифом) становили 3 638,35 млн грн без ПДВ (з ПДВ – 4 366,0 млн грн), що на 688,95 млн грн більше, ніж у попередньому. Куплено у постачальників за регульованим тарифом (обленерго) 229,6 млн кВт·г активної електроенергії на суму 96,85 млн грн без

ПДВ. У роботах [17, 18] показано принципи енергетичної стратегії Укрзалізниці та умови забезпечення енергетичної безпеки залізниць України. Вказано, що основою енергетичної безпеки Укрзалізниці може бути лише чітка державна вертикаль управління енергетичними ресурсами.

Багато закордонних вчених працюють над створенням інформаційних енергозберігаючих технологій, які враховують можливості розрахунків за електроенергію за диференційованими тарифами та купівлі електроенергії за оптовими цінами [19, 25].

Необхідно відзначити, що незважаючи на велику роботу, яка виконана на шляху енергозбереження в системах тягового електропостачання, не всі резерви задіяні, і тому цю проблему доцільно дослідити на системному рівні. Енергозбереження в системах електропостачання тяги поїздів постійного струму – це, безумовно, комплексна та багаторівнева проблема. Класифікація системи енергозберігаючих заходів у СТЕ представлена на рис. 2.1.

Постановка та успішне вирішення завдань, пов'язаних з енергозбереженням потребує комплексного, системного підходу [22]. На сьогоднішньому етапі розвитку Укрзалізниця перебуває у стадії реформування для наближення до вимог та нормативів Євросоюзу. Задля більшої енергетичної безпеки доцільно зберегти існуючу структуру управління споживанням ПЕР [17].

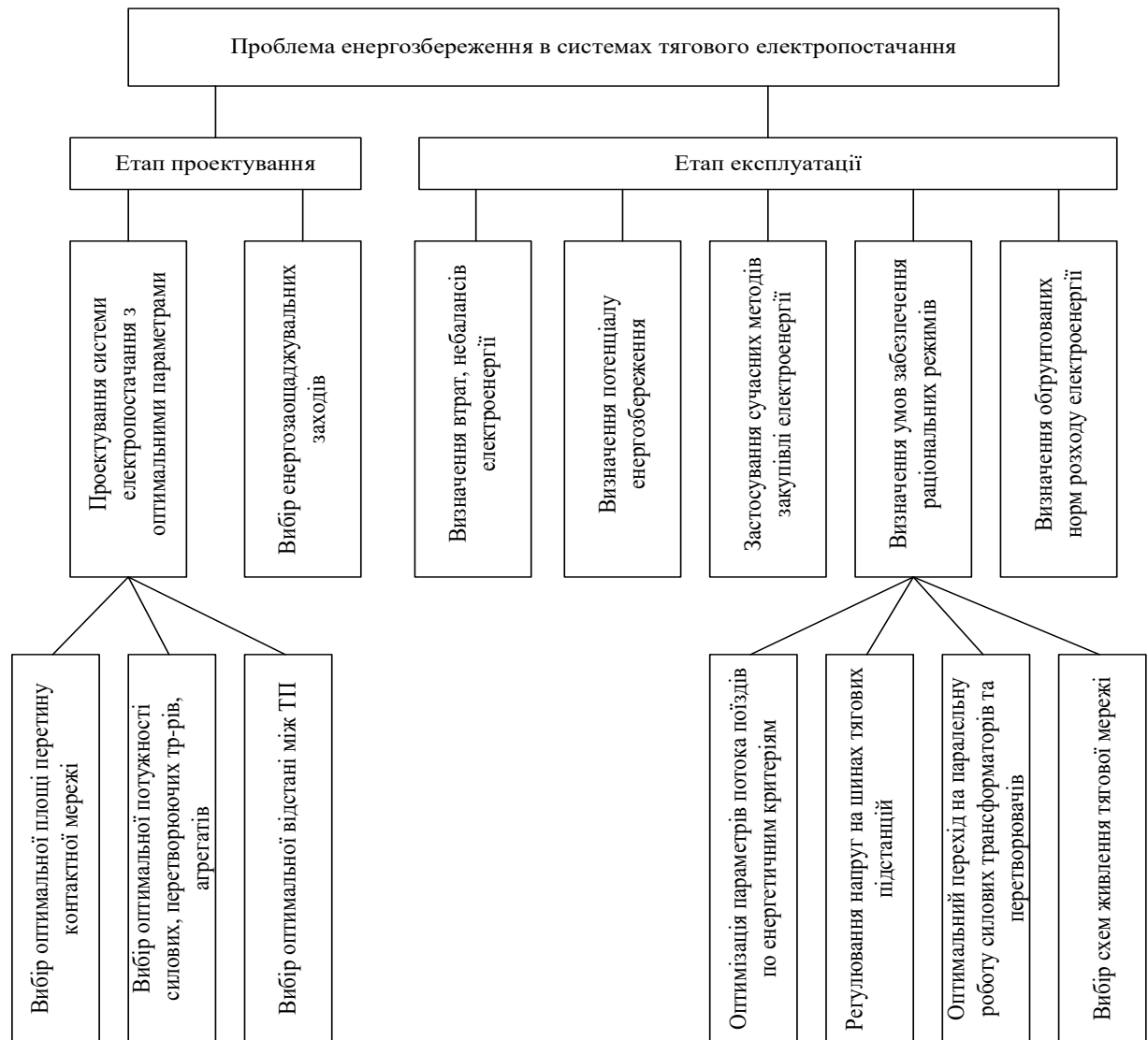


Рисунок 2.1 – Класифікація енергозберігаючих заходів у СТЕ

Господарство електрифікації та електропостачання залізниць можна як сукупність різних технологічних процесів, об'єднаних рішенням завдання безперебійного електропостачання ЕПС електроенергією з допустимими параметрами якості. При управлінні господарством електропостачання АСУЕ вирішуються завдання оптимізації режимів СТЕ, і навіть завдання, пов'язані з плануванням процесу технічної експлуатації устаткування. Система управління СТЕ є складною та має ієрархічну структуру, яку можна розділити на окремі підсистеми (рис. 2.2). Кожна окрема підсистема має самостійну мету управління та загальну мету для всієї АСУЕ. Кожна з підсистем знаходиться на своєму рівні ієрархії. Підсистеми взаємодіють між собою та мають зовнішні

зв'язки з живильними районними енергосистемами та іншими підсистемами залізниці.

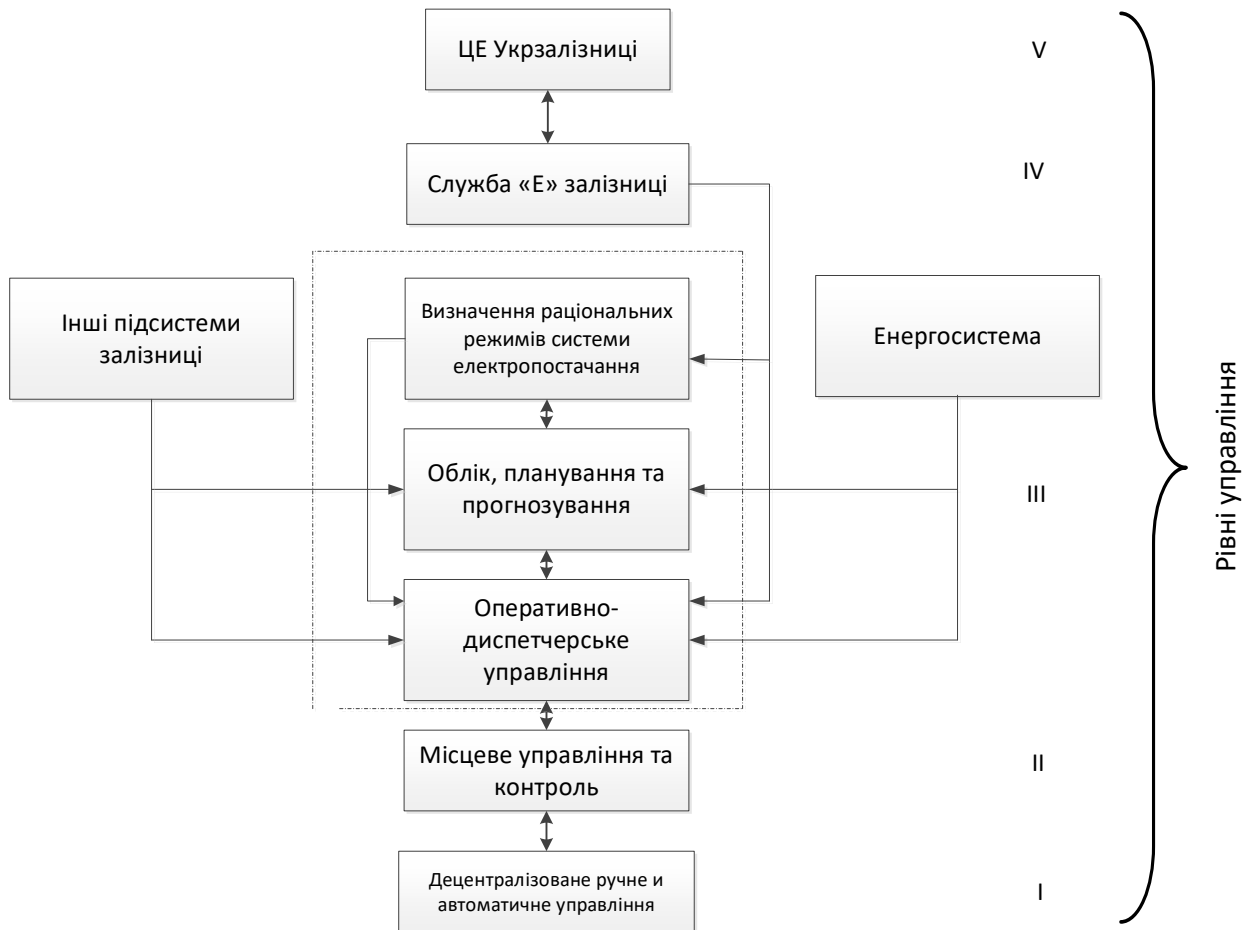


Рисунок 2.2 – Структурна схема управління господарством електрифікації та електропостачання Укрзалізниці

Управління в межах дистанції електропостачання має три рівні: на першому рівні здійснюється ручне та автоматичне децентралізоване керування силовим обладнанням; на другому рівні – місцеве оперативне та автоматичне централізоване управління силовим обладнанням ЕЧЕ, ПСК, ППС; на третьому рівні управління реалізують АСДУ.

Від енергодиспетчерських пунктів відповідно служби електропостачання дороги та Головного управління електрифікації та електропостачання ЦЕ на енергодиспетчерський пункт дистанції електропостачання надходить нормативна та оперативно-керуюча інформація,

за допомогою якої координуються режими роботи дистанцій електропостачання в межах залізниці.

Енергодиспетчерський пункт служби електропостачання дороги опрацьовує основні показники роботи ЕК, планує роботу ЕК у масштабах дороги, обмінюється інформацією з енергодиспетчерськими пунктами ЦЕ та енергосистем. АСДУ здійснює автоматизований збір та обробку інформації, яка необхідна диспетчерському персоналу для безперервного централізованого контролю та управління [18].

Завдання оперативного управління, які вирішуються АСДУ, визначаються режимом роботи системи електропостачання. Під режимом роботи системи електропостачання електротранспорту мається на увазі сукупність процесів, що визначають будь-якої миті часу стан параметрів режиму. Під параметрами режиму розуміються показники, що характеризують режим системи та умови її роботи: потужності, напруги, перетікання енергії по тяговій мережі, частота і т.д.

Система електропостачання характеризується параметрами, тобто показниками, що залежать від властивостей обладнання системи, її конфігурації та визначальними значення тих коефіцієнтів, за допомогою яких встановлюється взаємозв'язок та взаємозалежність параметрів режиму.

У нормальному режимі виконують регулювання режиму електропостачання, його коригування при відхиленнях до виконання вимог щодо якості електроенергії та надійності її подачі. Саме в цьому режимі доцільно шукати раціональні режими системи електропостачання електротранспорту.

В аварійних режимах набувають чинності автоматичні пристрої першого рівня (релейний захист). У цьому випадку оперативно-диспетчерський персонал здійснює необхідні відключення пристроїв електропостачання у разі їх відмови.

У післяаварійному режимі вирішують завдання щодо відновлення нормальної схеми електропостачання тяги поїздів та стаціонарних споживачів,

вживають заходів щодо усунення причин аварії та проводять ремонт пошкодженого обладнання.

Для забезпечення раціональності технологічного процесу постачання електроенергією тяги поїздів та стаціонарних споживачів необхідна інформація про поточний режим роботи СТЕ, режим роботи зовнішньої системи електропостачання, показники потоку поїздів, надійність силового обладнання. Для цього потрібні відповідні моделі. На рисунку 2.3 наведено взаємозв'язок різних моделей для ухвалення рішення, спрямованого на економію електроенергії.

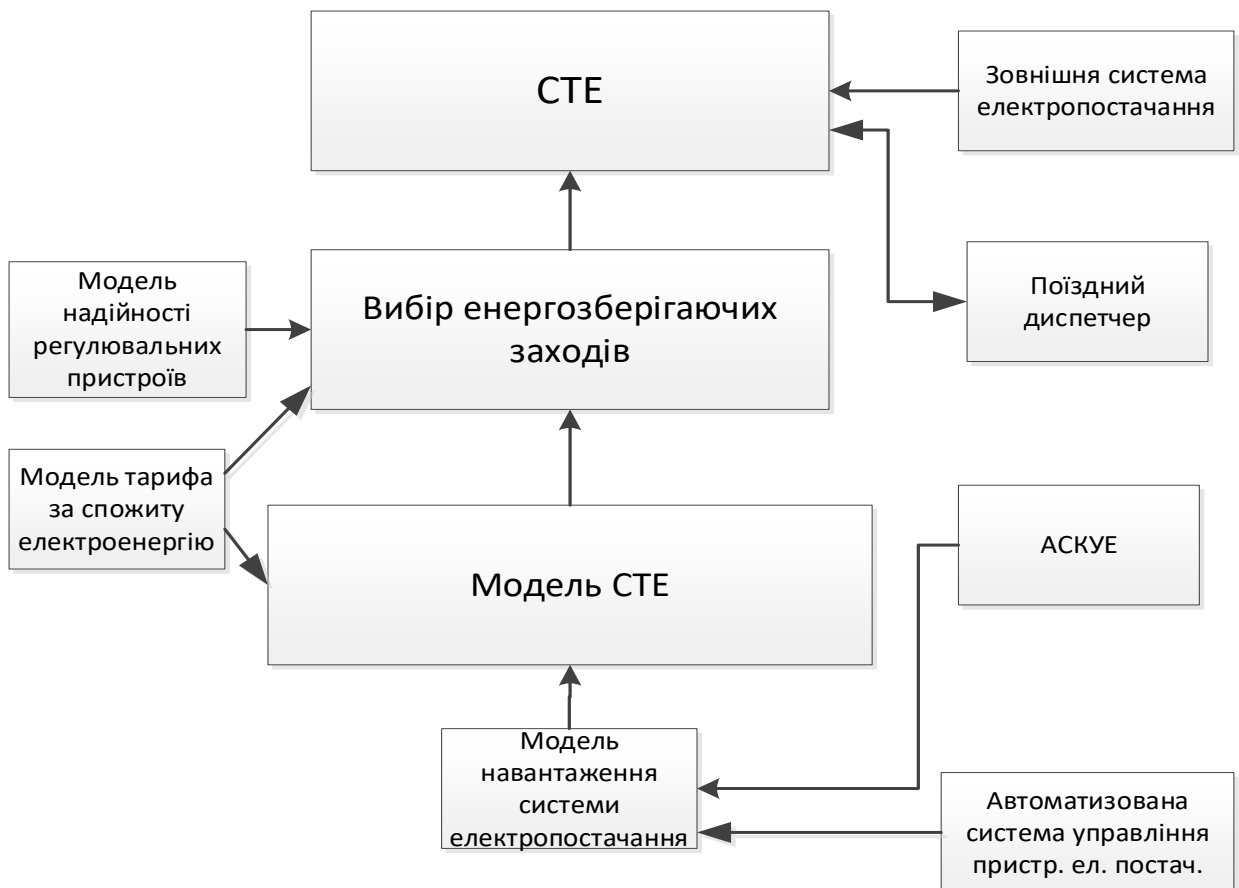


Рисунок 2.3 – Взаємодія моделей для вибору енергозберігаючих заходів

Система включає такі складові елементи:

- Модель навантаження системи електропостачання;

- Модель потоку поїздів;
- модель надійності перемикаючих пристроїв;
- Модель вибору енергозберігаючих заходів для забезпечення раціональних режимів системи електропостачання;
- Модель системи зовнішнього електропостачання.

На сучасному етапі система електропостачання електротранспорту потребує якісно нових підходів під час застосування енергозберігаючих заходів. Це пояснюється такими причинами:

- ринкові відносини у створенні господарську діяльність залізничного транспорту вимагають прийняття рішень, вкладених у максимізацію прибутку від перевезень;
- зниження показників надійності основного силового обладнання через знос;
- лібералізація ринку електроенергії підштовхує до використання прогресивних методів закупівлі електроенергії.

Досвід експлуатації системи електропостачання електротранспорту показав, що у нормальних режимах значення параметрів, що визначають умови надійності, якості, економічності передачі та споживання електроенергії, близькі до граничних. Тому, якщо шукати раціональні режими системи електропостачання лише з економічних міркувань, такий підхід буде недостатнім. На наш погляд, необхідно розширити кількість критеріїв і шукати раціональні режими не за одним приватним критерієм, а по всій сукупності критеріїв одночасно. Оптимізація режимів роботи системи електропостачання електротранспорту є типовим багатокритеріальним завданням структурної та параметричної оптимізації [19].

Завдання структурної оптимізації має на меті покращення векторів станів, які визначають умови надійності, якості електроенергії, економічності та електромагнітної сумісності (підключення постів секціонування, пунктів паралельного з'єднання, включення силових та перетворювальних трансформаторів на паралельну роботу). Параметрична оптимізація

спрямовано поліпшення векторів станів системи електропостачання для фіксованої структури цієї системи.

Ієрархія цілей, які можна технічно реалізувати, під час впровадження енергозберігаючих заходів у системах електропостачання електротранспорту зображено на рисунку 2.4.

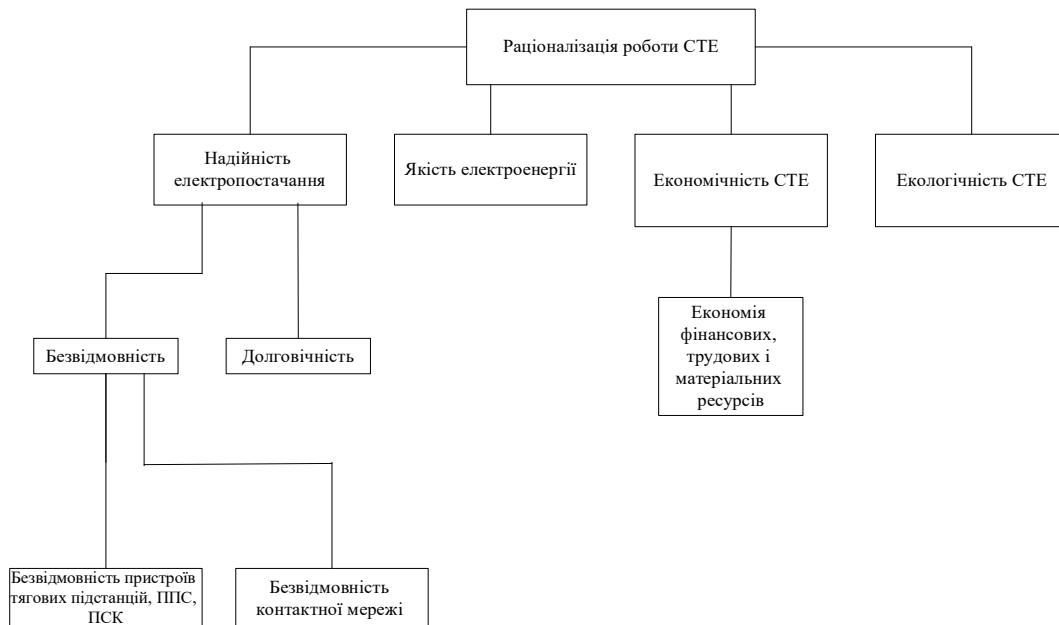


Рисунок 2.4 - Ієрархія цілей при здійсненні енергозберігаючої політики

Цілі можуть бути розподілені на такі рівні [21].

1-й рівень. Вища мета – раціоналізація роботи системи електропостачання електротранспорту, що забезпечує в ринкових умовах серед інших факторів конкурентоспроможність залізничного транспорту.

2-й рівень. Підцілями вищої мети є підвищення надійності системи електропостачання, якості електроенергії, економічності функціонування та поліпшення екологічних показників (показників електромагнітної сумісності з суміжними пристроями, зниження викидів CO₂) [49].

3-й рівень. У свою чергу, надійність системи електропостачання залежить від сукупності таких основних властивостей: - безвідмовність електропостачання споживачів; її живучість. Якість електроенергії

визначається, переважно, по відхиленням напруги від номінальних значень. Економічність функціонування системи визначається рівнем витрат матеріальних, трудових та фінансових ресурсів.

4-й рівень. Безвідмовність системи електропостачання електротранспорту забезпечується безвідмовністю як пристроїв тягових підстанцій, постів секціонування, пунктів паралельного з'єднання, так і пристроїв контактної мережі та мереж нетягового електропостачання.

2.2 Існуючі підходи до управління енергозбереженням в Україні

Відповідно до закону України «Про енергозбереження» [16] під енергозбереженням розуміється діяльність (організаційна, наукова, практична, інформаційна), яка спрямована на раціональне використання та економне витрачання первинної та перетвореної енергії та природних енергетичних ресурсів у національному господарстві та реалізується з використанням технічних, економічних та правових методів. У США, Європі, Японії питаннями управління енергозбереженням почали займатися у 70-х роках 20 століття в епоху нафтової кризи. Методи керування енергозбереженням постійно розвивалися. Тенденцію їх розвитку державному рівні можна простежити з прикладу Європейського Союзу – від прямого управління енергозбереженням шляхом економічного стимулювання в 70-90 гг. минулого століття до прийняття цільових програм з енергозбереження на етапі. Програмно-цільовий підхід визнано найефективнішим підходом до управління енергозбереженням на державному та галузевому рівнях. У Європейському Союзі накопичено великий позитивний досвід реалізації таких програм енергозбереження, як SAVE, SAVE II, TACIS, PHARE, SURE, «Розумна енергія для Європи» [22].

В Україні 1997 р. було прийнято «Комплексну державну програму енергозбереження України (КДПЕУ)» [23], в якій абсолютні показники енергозбереження поставлені у відповідність до стану економіки та

споживання ПЕР. Стратегічною метою політики енергозбереження України є вихід держави у перспективі на рівень передових держав із ринковою економікою щодо енергоємності як валового внутрішнього продукту, так і окремих видів продукції, робіт та послуг [23]. Головними завданнями КДПЕУ визначено такі:

- визначення загального існуючого та перспективного потенціалу енергозбереження, розробка основних напрямів його реалізації у матеріальному виробництві та сфері послуг;
- створення програми першочергових та перспективних заходів та завдань щодо підвищення енергоефективності та освоєння практичного потенціалу енергозбереження.

У 2010 р. прийнято «Державну цільову економічну програму енергоефективності...» [24]. Вона була розроблена для створення умов, які сприятимуть наближенню енергоємності валового внутрішнього продукту України до рівня розвинутих країн та стандартів Європейського Союзу. Протягом терміну дії «Програми...» [24] передбачено зниження рівня енергоємності валового внутрішнього продукту на 20 % порівняно з 2008 роком (щорічно на 3,3 %), підвищення ефективності використання паливно-енергетичних ресурсів. На відміну від [23] у [24] передбачені заходи щодо оптимізація структури енергетичного балансу держави шляхом зменшення частки імпортованих копалин органічних видів енергоресурсів, зокрема природного газу, та заміщення їх іншими видами енергоресурсів, у тому числі отриманими з альтернативних джерел енергії, та вторинними енергетичними ресурсами.

Основними показниками енергозбереження в [23, 24] прийнято:

- енергоємність;
- споживання ПЕР на душу населення;
- обсяг заміщення споживання ПЕР у результаті впровадження енергозберігаючих технологій.

Наведені вище показники енергозбереження не враховують надійність силового обладнання та екологічний аспект політики енергозбереження. Очевидно, що для комплексного підходу до енергозбереження потрібні комплексні показники.

Питанням розробки стратегії енергозбереження, розрахунку потенціалу енергозбереження, системного аналізу енергозберігаючих технологій та оптимізації енергоємних виробництв присвячені роботи [22, 25, 27]. У [27] запропоновано оригінальний алгоритм вирішення завдання екстремального управління енергозбереженням, який базується на застосуванні теоретико-ігрових підходів та враховує ринкові аспекти управління енергозбереженням.

2.3 Методи енергозбереження у системах електропостачання тяги поїздів постійного струму

Методи енергозбереження на етапі проектування систем тягового електропостачання. Концепція енергооптимальної системи електропостачання електротранспорту була запропонована у [9]. Під проектуванням енергооптимальної системи електропостачання електротранспорту розуміють вибір оптимальних параметрів електропостачання. При проектуванні умовно поділяють режими роботи системи електропостачання та електрорухомого складу. Тягові розрахунки виконуються при номінальній напрузі на струмоприймачі електровозів. Результати досліджень багатьох вчених наочно показали неприпустимість такого поділу взаємозалежних і залежних один від одного елементів системи електричної тяги.

Аналітичне формулювання завдання створення оптимальної системи електропостачання електричної тяги у загальному вигляді представлено в [9]:

$$\min M[Z(I_1, I_2, R, t)]. \quad (2.1)$$

де M – символ математичного очікування;

Z – показник ефективності;

I_1 – технічні параметри системи;

I_2 – умови експлуатації;

R – показник надійності;

t - час.

Область застосування вектора рішення $j(I_1, I_2)$ визначається обмеженнями, що накладаються на показники системи. Показник ефективності визначає якість кожного рішення, його мінімізація є основним завданням при проектуванні системи. Показник ефективності може бути економічним (наведені витрати) або технічним (сумарна потужність системи, втрати у системі тощо).

Методика вирішення задачі проектування оптимальної системи електропостачання, запропонована Р. І. Мірошніченком, полягала в наступному. Маючи дані щодо профілю ділянки, розстановки сигналів автоблокування та координати зупинкових пунктів, розглядали кілька варіантів системи електропостачання (поєднання різних типів ЕПС, різних параметрів системи електропостачання при заданих вантажопотоку та числі пасажирських поїздів) та вибирали варіант, оптимальний за мінімумом наведених витрат за умови забезпечення всіх технічних вимог та критеріїв.

В даний час на багатьох залізницях використовуються централізовані системи тягового електропостачання. Однак багато вчених висловлюються за застосування розподілених систем живлення. При розподілених системах тягового електропостачання головні підстанції здійснюють перетворення напруги живильної енергосистеми в напругу 6,12 або 24 кВ постійного струму або 35 кВ змінного струму поздовжньої лінії. Пункти живлення перетворюють напругу поздовжньої лінії на напругу 3,3 кВ тягової мережі. Застосування

таких схем дозволить використовувати дроти контактної мережі меншого перерізу, зменшить втрати електроенергії та втрати напруги в контактній мережі та створить передумови для автоматичного керування системами тягового електропостачання [18, 19].

Методи розрахунку систем електропостачання тяги поїздів. При розрахунках систем електропостачання тяги виникає два види завдань:

- Визначення розрахункових енергетичних величин за заданим графіком руху поїздів;
- Визначення розрахункових величин в умовах, коли не може бути заданий конкретний графік руху поїздів.

Існують такі групи методів розрахунку систем електропостачання електричного транспорту [26] (рис. 2.5):

- 1) методи розрахунку за заданим графіком руху поїздів;
- 2) методи розрахунку за середніми розмірами руху поїздів;
- 3) методи розрахунку з урахуванням нерівномірності руху поїздів.

Нижче розглянуто лише основні засади методів розрахунку системи тягового електропостачання.

Методи розрахунку, що використовують графіки руху поїздів, для завдань енергозбереження в СТЕ не прийнятні, оскільки завдання вирішується для магістральних залізниць з вантажним рухом, де не може бути заданий певний графік руху поїздів. Метод рівномірно розподіленого навантаження, а також його модифікації мають недостатню точність розрахунків внаслідок неврахування нерівномірності потоку поїздів і струмоспоживання.

Нерівномірність руху поїздів враховують методи, засновані на застосуванні теорії ймовірностей. К.Г. Марквардтом та Г.Г. Марквардтом була розроблена методика розрахунку системи електропостачання, орієнтована на застосування ЕОМ [7].

Були проаналізовані також методи розрахунку системи електропостачання [4, 22], що ґрунтуються на імітаційному моделюванні роботи електрифікованої ділянки залізниці. Методи цього класу орієнтовані

застосування ЕОМ і дозволили відмовитися від усереднення струмоспоживання по довжині міжпідстанційної зони, і навіть врахувати реальний потік поїздів.



Рисунок 2.5 – Існуючі методи розрахунку систем електропостачання електричного транспорту

Однак використовувати їх для вирішення завдань енергозбереження, регулювання режимів СТЕ виявилось неможливим, оскільки для досягнення прийнятної оптимізації точності необхідно витратити значну кількість машинного часу. Оскільки процедура оптимізації звертається до розрахунку системи багаторазово, то вирішити завдання за прийнятний час неможливо.

2.4 Методи енергозбереження за рахунок застосування раціональних режимів систем електропостачання тяги поїздів постійного струму

Досягнення раціонального електроспоживання можливе при оперативному аналізі інформації на різних рівнях обліку експертними системами (ЕС) та реалізації автоматизованого регулювання електроспоживання. У [4] розроблено стратегію досягнення раціонального електроспоживання в тягових мережах, що базується на інтегрованій системі управління пристроями електропостачання з розподіленим інтелектом та експертною системою прийняття рішень. Фактори, що впливають на складові електроспоживання було показано у [21], отримано узагальнюючі залежності втрат енергії, показано шляхи автоматизації накопичення баз знань ЕС. У [4, 122, 123] розроблено принципи формування алгоритмів регулювання режимів роботи електротягових мереж з використанням ЕС, що враховують координацію локальних та глобальної систем управління пристроями електропостачання за узагальненим критерієм мінімуму витрати електроенергії, що дозволяють здійснити перехід від диспетчерського до автоматизованого та автоматичного регулювання.

З метою знаходження та підтримки раціонального режиму щодо моніторингу роботи найважливіших елементів СТЕ запропоновані рекомендації в [28]. Використання пунктів паралельного з'єднання (ППС) у тягових мережах постійного та змінного струму призводить до скорочення втрат електричної енергії, які залежать як від особливостей рельєфу, яким проходить залізнична магістраль, так і від розмірів руху та ритмічності графіка руху поїздів по коліях різного напрямку. Для оцінки ефективності застосування ПКС в [24] запропоновано методику, що дозволяє більш точно визначати скорочення втрат у тягових мережах при їх включенні.

Також існує нечіткомножинний підхід до визначення раціональних режимів системи електропостачання тяги поїздів [27]. Удосконалено експертну систему прийняття рішень при регулюванні режимів роботи систем

тягового та зовнішнього електропостачання, що дозволяє підвищити енергоекономічну ефективність та оперативність прийняття рішень за неповної чи суперечливої інформації. Розроблено принципи формування алгоритмів та наповнення баз даних та знань експертних систем.

Алгоритми створення баз даних ЕС можна реалізувати після модернізації систем керування пристроями СТЕ на базі інтегрованих систем. Системи телемеханічного керування пристроями електропостачання, що є основою автоматизованих систем керування пристроями електропостачання (АСУЕ), нині не дозволяють передавати необхідну інформацію щодо параметрів режимів систем тягового електропостачання на автоматизовані робочі місця енергодиспетчера. Програмне забезпечення автоматизованих робочих місць енергодиспетчера не передбачає наявності експертних систем. При визначенні раціональних режимів роботи системи тягового електропостачання для здійснення перевізного процесу визначальним параметром є вартість електроенергії. У [28] зазначено, що вартість електроенергії є вирішальним вихідним параметром, визначальним результати техніко-економічних розрахунків і порівнянь у системі тягового електропостачання. Тому багатьох вчених стали цікавити питання пошуку раціональних режимів роботи систем електропостачання тяги поїздів з урахуванням можливості розрахунків за електроенергію за тарифами, що диференційовані за часом доби.

У [23, 30] розроблено методику, алгоритми та процедури обробки даних про процеси електроспоживання на тягу поїздів та функціонування системи тягового електропостачання, які забезпечили реалізацію основних функцій аналізу, узагальнення та подання в актуальній формі інформації в інтегрованій системі регулювання системою тягового електропостачання. Показано, що існує значний резерв енергозбереження на потяг поїздів за рахунок регулювання вагонопотоків з урахуванням вартості електроенергії, а також раціонального переведення тягових підстанцій на змінні тарифи. Облік прогнозованих обсягів перевезень за періодами доби, часу руху поїздів між

станціями переробки вантажів, станів сортувальних станцій дозволяє принаймні для деяких електрифікованих ділянок виконати ефективно за вартістю регулювання електроспоживання на тягу поїздів.

Якщо дано N_T ТП, $i=1,2,\dots,N_T$ які необхідно віднести до $C=(C_t^{(k)})=(C_1^{(k)}, C_2^{(k)}, \dots, C_{l_k}^{(k)})$ тарифів, то завдання оптимального переведення ТП на диференційовані тарифи може бути формалізовано в наступному вигляді [29, 30]:

$$K_1 = S_{(L)} = \sum_{k=1}^l [\sum_{i=1}^n (\sum_{j=1}^{l_k} a_{ij}^{(k)} C_j^{(k)} X_{ik})] \Rightarrow \min_{X_{ik} \in D_X \cap D_P}, \quad (2.2)$$

$$D_X = \{ \sum_{k=1}^l X_{ik} = 1; i=1, \dots, N_T \}, X_{ik} \in \{0;1\}, \quad (2.3)$$

$$D_P = \{(i, j) : i, j \in N_T; \sum_{(i, j) \in D_N} P(X_{ik}, X_{jk}) = 0; P(\alpha, \beta), \alpha, \beta \in \{0;1\}; k \in L\}. \quad (2.4)$$

де $C_j^{(k)}(t)$ - коефіцієнти відносної вартості електроенергії за тарифом "k" на інтервалі доби t тарифної зони j -й;

$A^{(k)} = [\hat{a}_{ij}^{(k)}]$ - матриці розподілу споживання електроенергії на тягу поїздів у тарифних зонах;

X_{ik} - бінарна змінна. $X_{ik} = 1$, коли ТП із номером i проводить оплату електроенергії за тарифом k .

Рівняння відносять кожен підстанцію одного тарифу, рівняння встановлюють, що ТП з номерами $(i, j) \in D_N$ мають належати одного тарифу $C_t^{(k)}$.

Застосування цих заходів дозволило для ділянки Нікополь-Марганець Придніпровської залізниці зменшити вартість спожитої електроенергії на

потяг на 16% (за умови застосування диференційованих тарифів оплати за спожиту електроенергію). Крім того, було б покращено режими роботи енергосистем у піковий годинник.

Вартість електроенергії розглядається як функція $C(x, t)$ [24-25] для завдань визначення оптимальних режимів при здійсненні перевізного процесу електротранспортом. Такий підхід дозволив дослідити спільно завдання вибору варіантів переведення тягових підстанцій на диференційований тариф оплати та розрахунків оптимальних режимів ведення поїздів. Були розроблені методи вирішення задачі з розрахунку оптимальних режимів ведення поїзда при змінній ціні за електроенергію при відомих (прогнозованих) матрицях очікуваного споживання електроенергії в різні періоди доби та методика розрахунку компромісно-оптимальних режимів за відсутності матриць очікуваного споживання, представлені моделями вектор.

Модель ціни на електроенергію для розрахунку режимних карт в умовах ОРЕ може бути представлена у вигляді наступного виразу [27, 29]

$$C(x, t) = \{(N(M[c(x_k, t_1)], \sigma(x_k, t_1)), \dots, N(M[c(x_k, t_{24})], \sigma(x_k, t_{24})))\}_{k \in N_k}, \quad (2.5)$$

де $N(a, \sigma)$ - функція Гауса;

$M[*]$ – знак математичного очікування;

x – координата шляху;

t – часу.

3 РОЗРОБКА ЗАХОДІВ З ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ЗАЛІЗНИЦЬ

3.1 Застосування енергозберігаючих заходів на базі метода аналізу ієрархій

Придніпровська залізниця здійснює постачання електричної енергії споживачам за регульованим тарифом з 2008 р. Це стало можливим лише після завершення першого етапу створення на залізниці системи комерційного обліку електроенергії. Для впровадження регульованого тарифу було проведено метрологічну перевірку ланцюгів обліку на межах балансового розмежування локальних мереж залізниць з обласними енергопостачальними компаніями, підписано акти балансового розмежування, створено центральний енергодиспетчерський апарат.

Придніпровська залізниця як постачальник електроенергії отримала такі переваги:

- 1) закупівля електроенергії за тарифами ОРЕ;
- 2) робота у чітко визначеному нормативно-правовому полі;
- 3) можливість провадити прибуткову ліцензійну діяльність;
- 4) першочерговий перегляд тарифів на передачу та постачання електроенергії;
- 5) відсутність плати за перетікання реактивної енергії;
- 6) отримання компенсації за постачання електроенергії населенню;
- 7) ефективне нормативно-правове стимулювання енергозбереження;
- 8) можливість застосування різних тарифних моделей для закупівлі електроенергії залежно від сформованої кон'юнктури ринку;
- 9) суттєве покращення стану комерційного обліку електроенергії.

Підприємство закуповує електроенергію на оптовому ринку та реалізує її за роздрібним тарифом залізничним та стороннім споживачам. В умовах ОРЕ є перспективними такі комбінації зовнішнього та тягового

електропостачання, які забезпечують економічну роботу електрифікованих ліній залізниць на базі двосторонніх договорів з елементами балансуючого ринку. Інтегровані системи керування електротяговими системами повинні забезпечувати передачу в центральний диспетчерський пункт даних про навантаження і потужності мереж та тягових підстанцій, за допомогою яких у реальному масштабі часу формуються півгодинні (хвилинні) графіки потужності.

Метою реконструкції вокзалів та модернізації тягових підстанцій є збільшення пропускної спроможності вокзалів та переробної спроможності станцій, оптимізація пасажирського та вантажного руху, підвищення якості обслуговування пасажирів, поділ пасажирських та приміських пасажиропотоків, а також перехід на закупівлю електроенергії на тягу поїздів з 2-го класу на 1-й [30, 31].

Тягова підстанція у низці випадків є проміжною підстанцією на відпаювання 35/6/3,3 кВ. Основне силове обладнання багатьох ТП знаходилося на етапі інтенсивного зношування.

Для вирішення поставленого завдання існували такі альтернативи:

1) А1 - застосування старої схеми трансформації 35/6/3,3 кВ на тягу поїздів зі збільшенням потужності понижувальних трансформаторів 35/6 кВ. Трансформатор ТД-16000/35/6 кВ замінюється трансформатором ТД-25000/35/6 кВ;

2) А2 – перехід на нову схему трансформації 35/3,3 кВ. Такий перехід буде здійснено завдяки створенню перемички між введеннями №1 та №235 кВ. Від перемички через роз'єднувач РВ-35/1000 У1 та вакуумний вимикач ВР-35-20/630 У2 живлення отримуватиме новий перетворювач трансформатора типу ТРДП потужністю 12 500 кВА, який буде встановлено замість старого трансформатора типу ТМРУ потужністю 6200 кВА. Далі живлення будуть отримувати нові напівпровідникові випрямлячі В-ТПЕД-3,15к-12П з дванадцятипульсовою схемою випрямлення, які будуть встановлені замість випрямлячів типу ПВА з шестипульсовою схемою випрямлення.

3) А3 – заміна ПВА з шестипульсовою схемою випрямлення на ПВА із дванадцятипульсовою схемою випрямлення із збереженням старої схеми трансформації;

4) А4 – заміна ПВА з шестипульсовою схемою випрямлення на ПВА з дванадцятипульсовою схемою випрямлення з переходом на нову схему трансформації;

5) А5 – заміна перетворювального трансформатора із збереженням старої схеми трансформації;

6) А6 – заміна масляних вимикачів на вакуумні (вимикачі типу С-35 – на ВР-35, ВМПЕ-10 – на ВР-2, ВМГ-10 – на ВВ/ТЕЛ);

7) А7 – заміна швидкодіючих вимикачів постійного струму (вимикачі АБ 2/4 – на вимикачі ВАБ-206);

8) А8 – встановлення вольтододаткового пристрою;

9) А9 – заміна лічильників електроенергії на мікропроцесорні;

10) А10 – заміна ламп на світлодіоди;

11) А11 – відновлення ізоляційних властивостей кабелів;

12) А12 – заміна фільтро-компенсуючих пристроїв.

Аналіз, проведений за допомогою ІС МАІ показав, що альтернативи А1 та А2 мають найвищий пріоритет.

Залежно від схем зовнішнього електропостачання та конструктивних особливостей тягових підстанцій залізниці існує кілька схем перетворення електроенергії:

1) 110/10/3,3 кВ;

2) 35/6(10)/3,3 кВ;

3) 35/3,3 кВ;

4) 10(6)/3,3 кВ.

Оскільки межею реалізації електроенергії на тягу поїздів виступають тягові трансформатори, то за схемою перетворення 35/3,3 кВ електроенергія реалізується за тарифом 1-го класу, а за всіх інших схем

– за 2-м класом. Придбання електроенергії за 1-м класом дозволяє заощаджувати значну суму. Таким чином, із двох можливих варіантів модернізації підстанції пропонується саме другий.

У табл. 3.1 наведено розрахунки економії коштів при переході на постачання електроенергії 1 класу для потреб електротяги [31].

Таблиця 3.1 – Розрахунки економії коштів при переході на постачання електроенергії 1-го класу для потреб електротяги поїздів на ТП-Дніпро за роздрібними тарифами та обсягами електроенергії за 2021 рік.

Місяць	Обсяг реалізації, кВт·год	Тариф 2-го класу, грн./кВт·год	Вартість 2-го класу, тис. грн	Тариф 1-го класу, грн./кВт·год	Вартість 1-го класу тис. грн	Різниця, тис. грн
січень	1206453	0,5846	705,292	0,4359	525,893	179,400
лютий	1221600	0,5846	714,147	0,4359	532,495	181,652
Березень	1453680	0,5846	849,821	0,4359	633,659	216,162
квітень	1419720	0,5846	829,968	0,4359	618,856	211,112
травень	1923720	0,5846	1124,607	0,4359	838,550	286,057
червень	1828800	0,5846	1069,116	0,4359	797,174	271,943
липня	1831920	0,5846	1070,940	0,4359	798,534	272,407
Серпень	2110440	0,5846	1233,763	0,4359	919,941	313,822
вересень	2136720	0,5846	1249,127	0,4359	931,396	317,730
жовтень	1951601	0,5846	1140,906	0,4359	850,703	290,203
листопад	1531879	0,6068	929,544	0,4572	700,375	229,169
грудень	1787400	0,6130	1095,676	0,4617	825,243	270,434
Усього	20403933		12012,909		8972,818	3040,091

3.2 Визначення норм витрати електроенергії для стаціонарних споживачів залізниць

Загальна кількість електроенергії, що переробляється пристроями електропостачання залізниць, містить у собі:

- електроенергію, що витрачається на тягу поїздів;
- електроенергію, що відпускається стороннім споживачам (не пов'язаним із залізничним транспортом);

- електроенергію, що споживається стаціонарними об'єктами залізничного транспорту.

Споживання електроенергії стаціонарними об'єктами містить у собі електроенергію на експлуатаційні потреби залізниць. Сюди відносяться витрати електроенергії на основні та допоміжні технологічні процеси, а також допоміжні потреби виробництва (загальновиробниче цехове та деповське споживання на освітлення, вентиляцію, опалення та ін.), а також технологічні втрати енергії в електромережах. Сумарне споживання електроенергії на експлуатацію залізниць є загальним споживанням електроенергії по мережі залізниць на основну роботу. Планові обсяги електроенергії, необхідні забезпечення роботи стаціонарних споживачів загалом мережі залізниць, визначають за такою формулою, кВт·год

$$W_c = \omega_c n_{cp} = \sum_{i=1}^{n_d} W_{di}, \quad (3.1)$$

де ω_c - норма витрати електроенергії для стаціонарних споживачів на основну роботу залізниць, кВт ч/10⁴ т км брутто;

n_{cp} - річний обсяг основної роботи залізниць, 104 тк·м брутто;

n_d - кількість залізниць;

W_{di} - витрата електроенергії за нормою для стаціонарних споживачів на основну роботу і-ї залізниці, кВт·год/рік.

За аналогічними формулами виконують розрахунки планових обсягів електроенергії для стаціонарних споживачів для залізниць, окремих служб.

Донедавна питомі норми витрат електроенергії для стаціонарних споживачів визначалися за застарілими інструкціями. Це наголошувалося у першому розділі дисертації. Старі інструкції не враховували багато

структурних та технічних змін у стаціонарних споживачах. Так, за нормування витрат електроенергії для пасажирської служби враховувалися лише вокзали та не бралися до уваги пасажирські вагонні депо, пункти технічного обслуговування. При нормуванні витрат електроенергії для служби колії враховувалися лише дистанції колії. У нормативних документах, які використовувалися під час СРСР, під час планування витрат електроенергії на експлуатаційні потреби використовувалися емпіричні формули, що враховують географічну широту. Для залізниць України цього немає потреби, т.к. усі залізниці України розташовані від 480 до 520 географічної широти. Також за роки незалежності докорінно змінився характер сезонності роботи залізниць загалом.

Принципами, у яких має будуватися система нормування витрат електроенергії для стаціонарних споживачів, може бути такі:

- розрахунок норм витрати електроенергії за укрупненими показниками;
- врахування характеру сезонності роботи стаціонарних споживачів;
- облік кліматичних умов роботи залізниць;
- облік енергетичної оснащеності підприємств залізничного транспорту;
- облік обсягів перевізної роботи залізницями;
- облік потенційного рівня науково-технічного прогресу.

Відповідно до вищевикладеного введемо коефіцієнт сезонності, який характеризуватиме сезонність роботи різних стаціонарних споживачів залізничного транспорту, залізниці та Укрзалізницю загалом. Чисельне значення коефіцієнта сезонності визначимо за такою формулою:

$$k_c = \frac{W_i}{W_{cp}}, \quad (3.2)$$

де W_i - обсяг споживання електроенергії на потреби стаціонарних споживачів у І-му місяці,

$W_{\text{ср}}$ – середньорічний обсяг споживання електроенергії стаціонарними споживачами.

Вплив рівня технічного оснащення стаціонарних споживачів зміну питомої витрати електроенергії враховуватимемо коефіцієнтом технічної оснащності k_M . Цей коефіцієнт на залізничному транспорті зазвичай розраховують за емпіричними формулами. У загальному випадку

$$k_M = f(E_x, m_x), \quad (3.3)$$

де E_x і m_x відповідно середня електрооснащеність роботи, кВт · год / чол · год, та питомі витрати праці, чол · год/10⁴ т · км брутто, при аналізованому рівні технічної оснащності об'єктів залізниці.

Середню електрооснащеність роботи споживачів залізниці при рівні технічної оснащності, що розглядається, можна визначити за такою формулою кВт·год/чол·год,

$$E_x = \frac{\sum_{j=1}^{n_c} W_{c j}}{n_{1d} n_2}, \quad (3.4)$$

де n_c - кількість споживачів залізниці – учасників виконання основної (перевізної) роботи залізниці;

$W_{c j}$ - річна витрата електроенергії за нормою для j -го споживача залізниці, який брав участь у виконанні основної роботи, кВт·год;

n_{1d} - кількість працівників, які зайняті основною виробничою діяльністю залізниці без урахування працівників локомотивних бригад, провідників; працівників тягових підстанцій, лікувальних та санітарно-лікарських установ, навчальних закладів, загальноосвітніх шкіл, дитячих закладів та підприємств, що належать до інших виробничих споживачів;

n_2 - кількість робочих годин на рік, год.

Якщо розрахунки витрат електроенергії за нормою кожної служби на рік, який планується, викликає певні труднощі, то коефіцієнт електрооснащеності (E_x) і питомі витрати (m_x) можна визначити шляхом екстраполяції даних. Облік кліматичних умов роботи різних залізниць проводиться за допомогою температурного коефіцієнта k_{zd} .

Для побудови регресійних залежностей для розрахунку норм витрати електроенергії для стаціонарних споживачів залізниць України в рамках виконання роботи [26] було проаналізовано дані звітних форм ЕО-1 за певний період, досліджено характер сезонності споживання електроенергії стаціонарними споживачами, сезонності, коефіцієнти регресій за кожною службою, залізницями та загалом по Укрзалізниці. Нижче наведено аналіз споживання електроенергії стаціонарними споживачами залізниць України за 2013 р. (рис. 3.2 - 3.5 та табл. 3.1 - 3.10).

Таблиця 3.2 – Витрата електроенергії споживачами служб перевезень W , тис. кВт·год

Залізниця	Місяць												За год	W_{cp}
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
Придніпровська	5308,8	5063	4964,7	3376,9	2369,1	1893,1	1973,6	2162,1	2363,8	3333,8	4365,9	5367,9	42542,7	3545,23
Донецька	5713	5173	4388	3659	2785	2280	2352	2520	2912	3806	4786	5284	45658	3804,83
Південна	4941	4432	4158,5	2967,1	2225	1897,2	1794,2	1915,1	2427,4	3289,4	4310,1	5169,7	39526,7	3293,89
Південно-Західна	4690,9	4628,8	4215,5	3264,7	2242,4	1785,6	1723,7	1981,1	2147,4	2854,2	3998,9	4627,1	38160,3	3180,03
Одеська	3478,6	3438,7	2981,3	2450,2	1656,4	1362,5	1337,1	1504,5	1619,6	1979,8	2800	3230,9	27839,6	2319,97
Львівська	3028,5	2978,1	2765,1	2137,5	1484,2	1222,8	1144	1121	1220,5	1668,3	2496,8	3093,4	24360,2	2030,02

Таблиця 3.3 - Коефіцієнти сезонності споживачів служб перевезень K_c

Залізниця	Місяць											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Придніпровська	1,50	1,43	1,40	0,95	0,67	0,53	0,56	0,61	0,67	0,94	1,23	1,51
Донецька	1,50	1,36	1,15	0,96	0,73	0,60	0,62	0,66	0,77	1,00	1,26	1,39
Південна	1,50	1,35	1,26	0,90	0,68	0,58	0,54	0,58	0,74	1,00	1,31	1,57
Південно-Західна	1,48	1,46	1,33	1,03	0,71	0,56	0,54	0,62	0,68	0,90	1,26	1,46
Одеська	1,50	1,48	1,29	1,06	0,71	0,59	0,58	0,65	0,70	0,85	1,21	1,39
Львівська	1,49	1,47	1,36	1,05	0,73	0,60	0,56	0,55	0,60	0,82	1,23	1,52

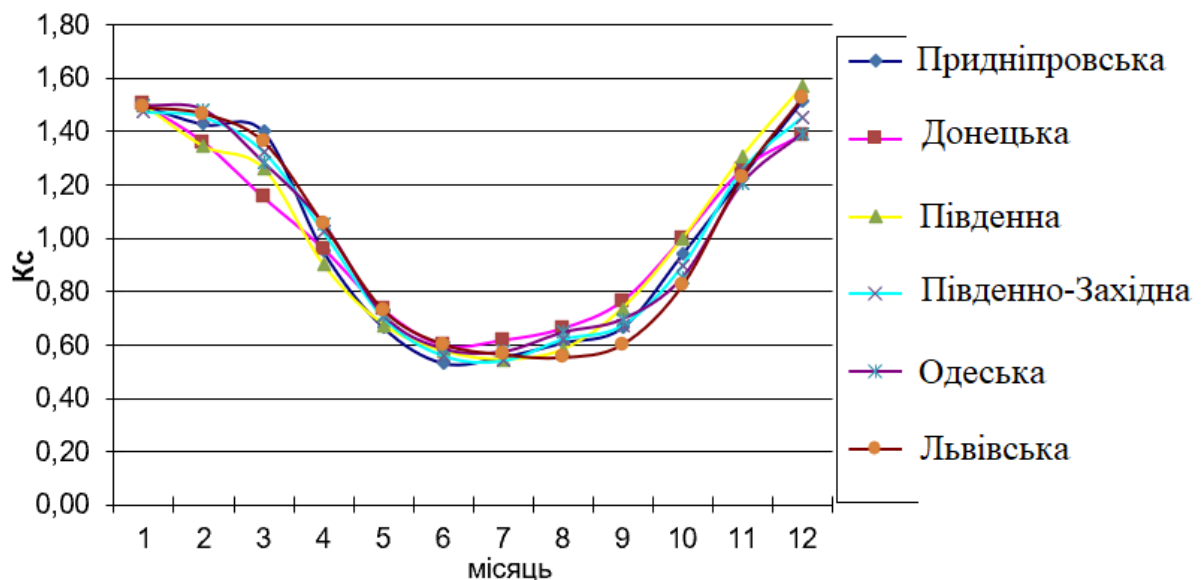


Рисунок 3.1 – Коефіцієнти сезонності для служб перевезень залізниць України

Таблиця 3.4 – Витрата електроенергії споживачами служб вагонів та вагонного господарства W , тис. кВт·год

Залізниця	Місяць												всього	W_{cp}
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
Придніпровська	2166,7	2521,3	2408,1	1839,7	1457,2	1376,4	1373,6	1369,7	1348,5	1730,3	2351,4	2354,2	22297,1	1858,09
Донецька	3102	2746	2601	2256	1856	1665	1672	1558	1743	2167	2707	2973	27046	2253,83
Південна	1109,3	1164,8	1164,8	1050,3	884,3	874,7	691	779	731,8	737	1126,2	1300,5	11613,7	967,81
Південно-Західна	892,4	1019,2	867,8	757,2	632,6	541,6	527,4	542,4	530,3	694	894,4	1001,7	8901	741,75
Одеська	680,2	802,6	695	661,6	495,6	499,8	456,1	444,5	463,8	511,5	654,7	700,6	7066	588,83
Львівська	369	411,8	435,1	409,8	349,1	325,9	330,5	327,1	300,1	324,1	350,3	356,1	4288,9	357,41

Таблиця 3.5 - Коефіцієнти сезонності для служб вагонів та вагонного господарства Кс

Залізниця	Місяць											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Придніпровська	1,17	1,36	1,30	0,99	0,78	0,74	0,74	0,74	0,73	0,93	1,27	1,27
Донецька	1,38	1,22	1,15	1,00	0,82	0,74	0,74	0,69	0,77	0,96	1,20	1,32
Південна	1,15	1,20	1,20	1,09	0,91	0,90	0,71	0,80	0,76	0,76	1,16	1,34
Південно-Західна	1,20	1,37	1,17	1,02	0,85	0,73	0,71	0,73	0,71	0,94	1,21	1,35
Одеська	1,16	1,36	1,18	1,12	0,84	0,85	0,77	0,75	0,79	0,87	1,11	1,19
Львівська	1,03	1,15	1,22	1,15	0,98	0,91	0,92	0,92	0,84	0,91	0,98	1,00

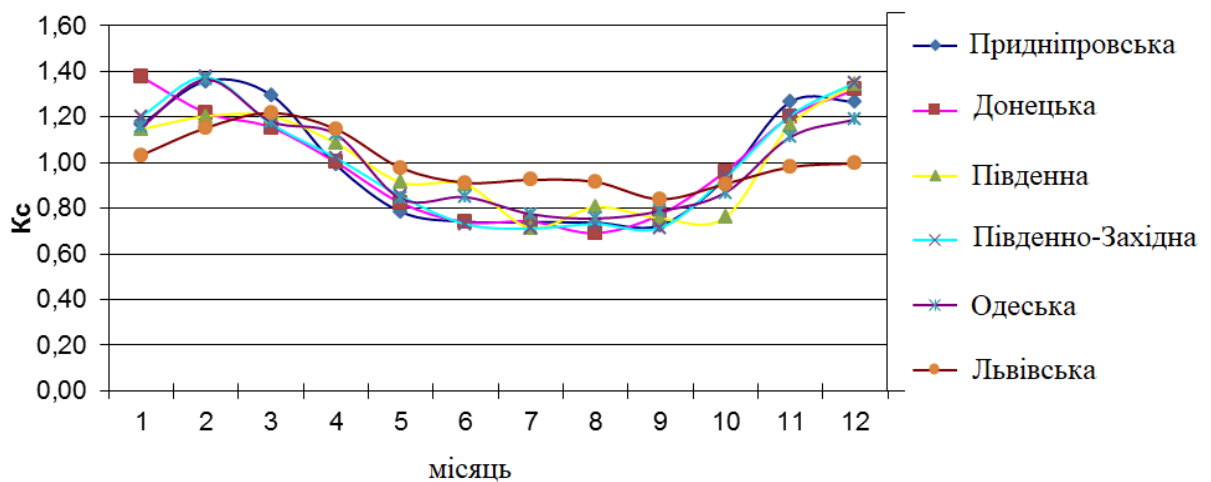


Рисунок 3.2 – Коефіцієнти сезонності для служб вагонів та вагонного господарства

Таблиця 3.6 - Витрата електроенергії споживачами служб колії та колійного господарства W, тис. кВт·год

Залізниця	Місяць												всього	W _{ср}
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
Придніпровська	2060,3	2213,3	1997,3	1442,3	1027	859,3	905,7	963,6	1007,7	1377,3	1739,6	2063	17656,4	1471,37
Донецька	2320	2183	1899	1555	1093	880	981	962	1093	1582	1820	2168	18536	1544,67
Південна	607,3	645,8	557,7	402	538,4	254,1	324,5	265,5	90,3	482,3	520,5	730,4	5418,8	451,57
Південно-Західна	1818,1	1992,5	2019	1441,1	1076,3	979,9	865,1	924,6	962,5	1272,4	1725,5	2387,5	17464,5	1455,38
Одеська	1876,3	1924,9	1802,3	1578,2	1235,4	1126,9	1099,6	1180,7	1217,9	1469,7	1856,2	1954,7	18322,8	1526,90
Львівська	1729,6	1805,2	1688,8	1481,5	1213	1276	1147,4	1255,2	1311,7	1414,1	1701,5	1881,6	17905,6	1492,13

Таблиця 3.7 – Коефіцієнти сезонності служб колії та колійного господарства
Кс

Залізниця	Місяць											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Придніпровська	1,40	1,50	1,36	0,98	0,70	0,58	0,62	0,65	0,68	0,94	1,18	1,40
Донецька	1,50	1,41	1,23	1,01	0,71	0,57	0,64	0,62	0,71	1,02	1,18	1,40
Південна	1,34	1,43	1,24	0,89	1,19	0,56	0,72	0,59	0,20	1,07	1,15	1,62
Південно-Західна	1,25	1,37	1,39	0,99	0,74	0,67	0,59	0,64	0,66	0,87	1,19	1,64
Одеська	1,23	1,26	1,18	1,03	0,81	0,74	0,72	0,77	0,80	0,96	1,22	1,28
Львівська	1,16	1,21	1,13	0,99	0,81	0,86	0,77	0,84	0,88	0,95	1,14	1,26

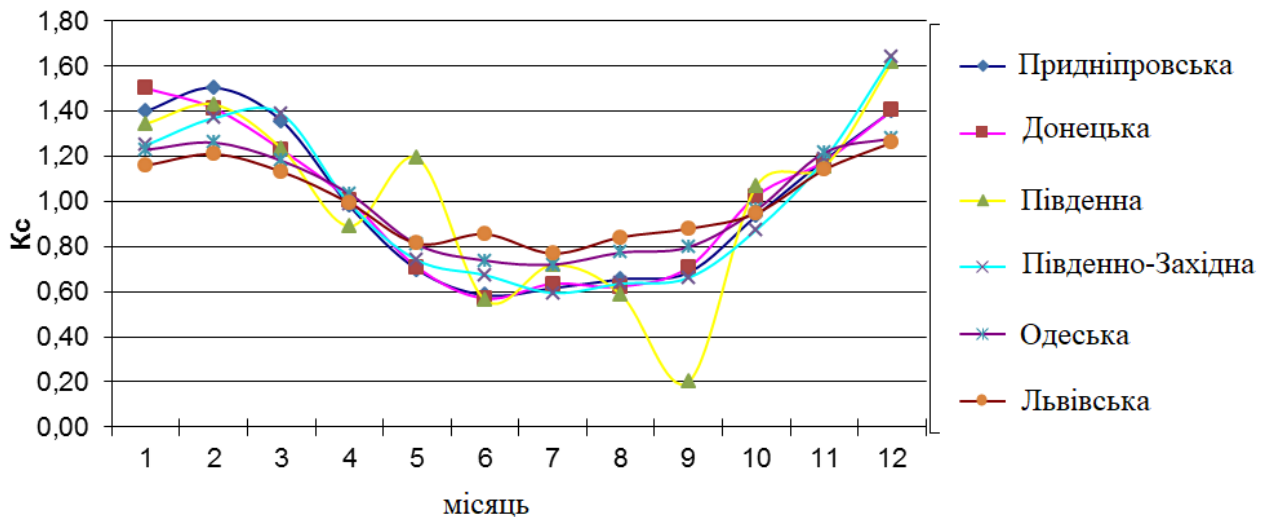


Рисунок 3.3 – Коефіцієнти сезонності служб колії та колійного господарства

Таблиця 3.8 – Витрати електроенергії стаціонарними споживачами служб електропостачання W, тис. кВт·год

Залізниця	Місяць												всього	W _{ср}
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
Придніпровська	3047,4	2990	2965,7	1692,6	1150,6	984,3	1213,5	1133,5	1084,7	1522	2466,4	2878	23128,7	1927,39
Донецька	4814	4532	3978	2336	1386	1058	1174	1389	1508	3333	3999	5644	35151	2929,25
Південна	2720	393,7	311,3	1054,8	1123	1327,4	1473,5	1521,7	1559,3	2098,2	3132,6	3808,2	20523,7	1710,31
Південно-Західна	905,4	941,5	831,8	581	301,3	252,7	268,7	247,5	263,4	545,5	654,1	898,8	6691,7	557,64
Одеська	1631,5	1538,5	1211,3	676,3	348,7	290,7	293,5	306,1	364,5	562,6	995,6	1427,1	9646,4	803,87
Львівська	1878,4	1838,1	1562,2	1102,2	700,9	679,2	577,8	610,5	617,9	1017	1547,7	1604,3	13736,2	1144,68

Таблиця 3.9 – Коефіцієнти сезонності для стаціонарних споживачів служб електропостачання Кс

Залізниця	Місяць											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Придніпровська	1,58	1,55	1,54	0,88	0,60	0,51	0,63	0,59	0,56	0,79	1,28	1,49
Донецька	1,64	1,55	1,36	0,80	0,47	0,36	0,40	0,47	0,51	1,14	1,37	1,93
Південна	1,59	0,23	0,18	0,62	0,66	0,78	0,86	0,89	0,91	1,23	1,83	2,23
Південно-Західна	1,62	1,69	1,49	1,04	0,54	0,45	0,48	0,44	0,47	0,98	1,17	1,61
Одеська	2,03	1,91	1,51	0,84	0,43	0,36	0,37	0,38	0,45	0,70	1,24	1,78
Львівська	1,64	1,61	1,36	0,96	0,61	0,59	0,50	0,53	0,54	0,89	1,35	1,40

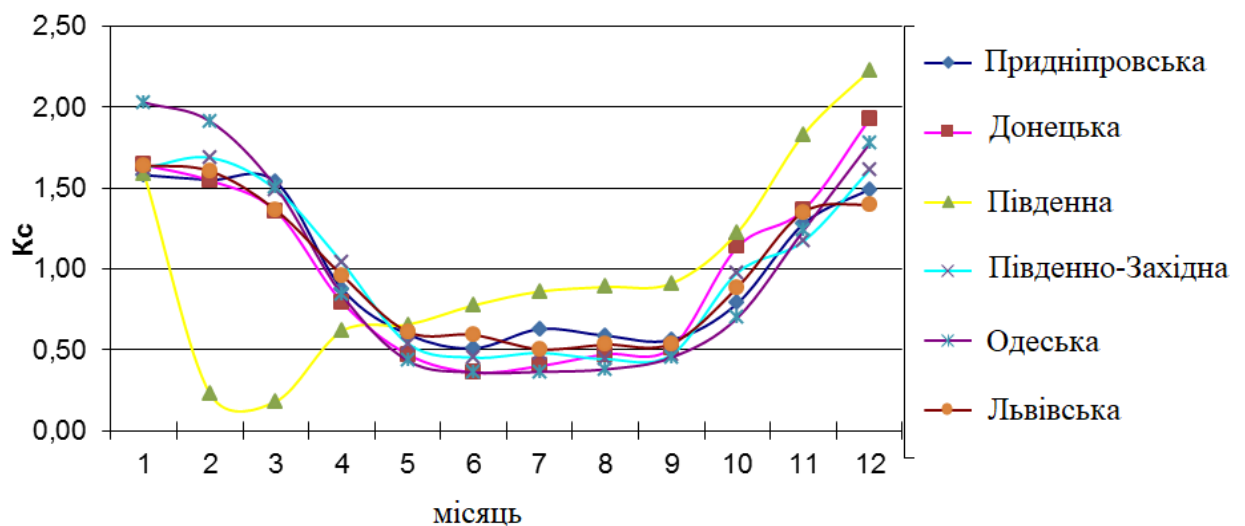


Рисунок 3.4 – Коефіцієнти сезонності для служб електропостачання

Аналогічні таблиці та графіки було отримано і для інших служб, а саме для служби сигналізації та зв'язку, споживачів пасажирських служб, служб маркетингу та комерційної роботи.

Для мережі залізниць (загалом для Укрзалізниці) коефіцієнти сезонності отримані в такий спосіб. Спочатку отримано середні коефіцієнти сезонності для кожної залізниці, а потім було розраховано середній коефіцієнт сезонності для Укрзалізниці.

Таблиця 3.10 – Коефіцієнт сезонності для Укрзалізниці

Служба	Місяць											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Перевезень	1,49	1,41	1,29	0,98	0,70	0,57	0,57	0,62	0,70	0,93	1,25	1,47
Локомотивна	1,32	1,41	1,26	1,05	0,85	0,68	0,64	0,65	0,66	0,88	1,23	1,35
Вагонна	1,23	1,28	1,21	1,03	0,84	0,78	0,75	0,74	0,76	0,91	1,19	1,28
Колії	1,31	1,36	1,25	0,99	0,78	0,68	0,67	0,70	0,72	0,96	1,18	1,41
Е	1,65	1,35	1,20	0,82	0,55	0,51	0,55	0,57	0,59	1,00	1,41	1,79
Ш	1,18	1,18	1,11	1,00	0,90	0,86	0,85	0,86	0,86	0,94	1,09	1,16
Пасажирська	1,67	1,68	1,60	0,85	0,47	0,44	0,48	0,50	0,55	0,75	1,29	1,73
Комерційна	1,45	1,53	1,34	1,00	0,74	0,56	0,53	0,57	0,64	0,89	1,28	1,48
По Укрзалізниці	1,42	1,38	1,28	0,96	0,72	0,64	0,64	0,66	0,70	0,91	1,23	1,46

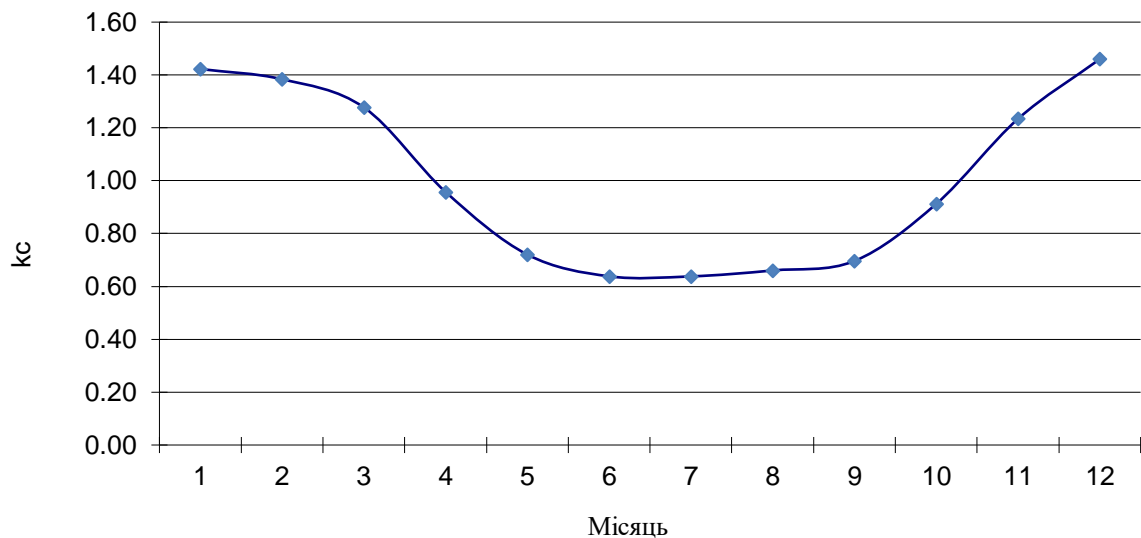


Рисунок 3.5 – Коефіцієнт сезонності для стаціонарних споживачів Укрзалізниці

Ідентифікуватимемо рівняння регресії, що зв'язує перевізну роботу залізниць і норму споживання електроенергії для стаціонарних споживачів у наступному вигляді, кВт · год /10⁴ т·км брутто,

$$\omega_d = k_{md}k_{cd}k_{zd} \left(A_d - B_d \cdot n_{dp} \right) = \frac{\sum_{j=1}^{n_c} W_{cj}}{n_{dp}}, \quad (3.5)$$

де k_{md} - коефіцієнт, що враховує вплив рівня технічної оснащеності всіх об'єктів, що входять до складу залізниці, на зміну питомої витрати електроенергії [26];

k_{cd} - коефіцієнт сезонності, значення якого визначають за табл. 3.11

k_{zd} - коефіцієнт, що враховує вплив температури зовнішнього повітря на зміни питомої витрати електроенергії [26].

A_d та B_d - коефіцієнти, що відповідають конкретній залізниці.

Таблиця 3.11 – Значення коефіцієнтів k_{cd} для заліниць України

Залізниця \ Місяць	Місяць											
	Січень	Лютий	Березень	Квітень	Травень	Червень	Липень	Серпень	Вересень	Жовтень	Листопад	Грудень
Придніпровська	1,42	1,45	1,41	0,94	0,68	0,59	0,62	0,64	0,66	0,91	1,25	1,43
Донецька	1,44	1,37	1,20	0,95	0,76	0,62	0,64	0,66	0,70	0,99	1,22	1,44
Південна	1,44	1,18	1,12	0,89	0,73	0,67	0,66	0,67	0,76	0,96	1,25	1,68
Південно-Західна	1,45	1,46	1,33	0,98	0,66	0,61	0,59	0,63	0,65	0,85	1,28	1,50
Одеська	1,40	1,42	1,30	0,99	0,74	0,67	0,66	0,69	0,72	0,85	1,20	1,37
Львівська	1,35	1,37	1,25	1,01	0,79	0,74	0,70	0,71	0,71	0,88	1,17	1,33

Внаслідок обробки масиву експериментальних даних про витрати електроенергії стаціонарними споживачами за розглядуваний період було отримано такі значення коефіцієнтів рівняння регресії (3.5) [11].

Таблиця 3.12 – Значення коефіцієнтів A_d и B_d

Залізниця	A_d	B_d
Придніпровська	34,773	$1,371 \cdot 10^{-6}$
Донецька	39,747	$1,310 \cdot 10^{-6}$
Південна	35,552	$1,961 \cdot 10^{-6}$
Південно-Західна	49,824	$4,832 \cdot 10^{-6}$
Одеська	38,793	$3,670 \cdot 10^{-6}$
Львівська	30,614	$1,432 \cdot 10^{-6}$

3.3 Зменшення небалансів електроенергії у системах електропостачання постійного струму

Фактичний небаланс електроенергії за розрахунковий період визначається як різниця між загальним надходженням електроенергії та кількістю відпущеної електроенергії:

$$\text{НБф} = \frac{W_{\Pi} - W_o}{W_{\Pi}} \cdot 100\%, \quad (3.6)$$

де W_{Π} (W_o) - обсяг прийому (відпустки) електроенергії у розрахунковому періоді, визначається за показаннями лічильників на приєднаннях.

Отриманий небаланс порівнюється з допустимим і робиться відповідний висновок про наявність на підстанції неврахованого споживання електроенергії та наявність похибок вимірювальних комплексів.

Допустимий небаланс у відсотках визначається за формулою

$$\text{НБ}_{\Pi} = \sqrt{\left(\sum_{i=1}^k \delta_{\Pi i}^2 \cdot d_{\Pi i}^2 + \sum_{i=1}^m \delta_{oi}^2 \cdot d_{oi}^2 \right)}, \quad (3.7)$$

де $\delta_{\Pi i} (\delta_{oi})$ - середньоквадратична похибка i -го вимірювального комплексу, що відповідає класам точності трансформаторів струму та напруги, та лічильника, призначеного для обліку електроенергії, що надійшла (відпущена), що входять до цього комплексу, %;

$d_{\Pi i} (d_{oi})$ - частка електроенергії, що пройшла (відпущена) через i - тий вимірювальний комплекс;

k - кількість вимірювальних комплексів, що враховують електроенергію, що надійшла на шини об'єкта;

m - кількість вимірювальних комплексів, що враховують відпущену енергію (у тому числі на власні потреби підстанцій).

Значення небалансів активної енергії по тяговій підстанції Придніпровської залізниці за місяцями наведено у табл. 3.13 [18, 28].

Таблиця 3.13 – Небаланс активної енергії по ТП по місяцях

Показник	1. Травень 2020 р.	2. Червень 2020 р.	3. Липень 2020 р.	4. Серпень 2020 р.	5. Вересень 2020 р.	6. Жовтень 2020 р.	7. Листопад 2020 р.	8. Грудень 2020 р.	9. Січень 2021 р.	10. Лютий 2021 р.	11. Березень 2021 р.
Допустимий активний небаланс, %	1,42735	1,21366	1,29474	1,41654	1,32714	1,42421	1,37154	1,40832	1,40708	1,37832	1,39626
Фактичний активний небаланс, %	-0,85913	0,01445	1,76471	2,07493	4,20172	5,30946	5,66318	6,29124	5,64875	0,12110	1,17505
Наднормативний небаланс, %	0,00	0,00	0,46997	0,65839	2,87458	3,88525	4,29164	4,88292	4,24149	0,00	0,00
Розподілений небаланс, %	-0,85913	0,01445	1,29474	1,41654	1,32714	1,42421	1,37154	1,40832	1,40708	0,12110	1,17505

Графік залежності фактичного та допустимого активних небалансів електроенергії наведено на рис. 3.6. На тяговій підстанції з липня 2020 р. по січень 2021 р. фактичний небаланс перевищує допустимий. Наднормативний небаланс наведено на рисунку 3.7.

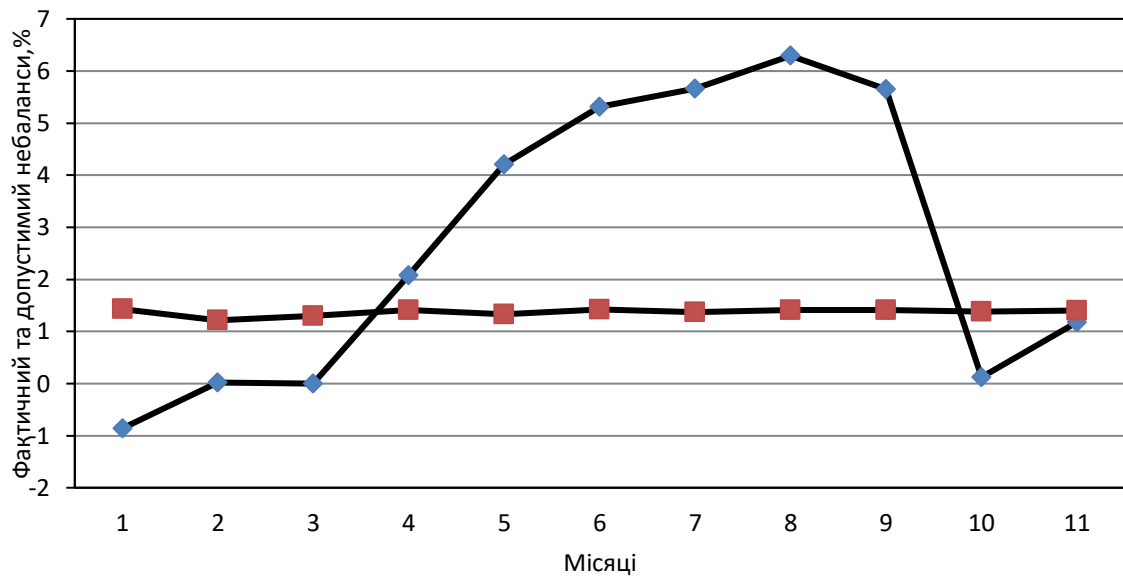


Рисунок 3.6 – Фактичний та допустимий активні небаланси тягової підстанції

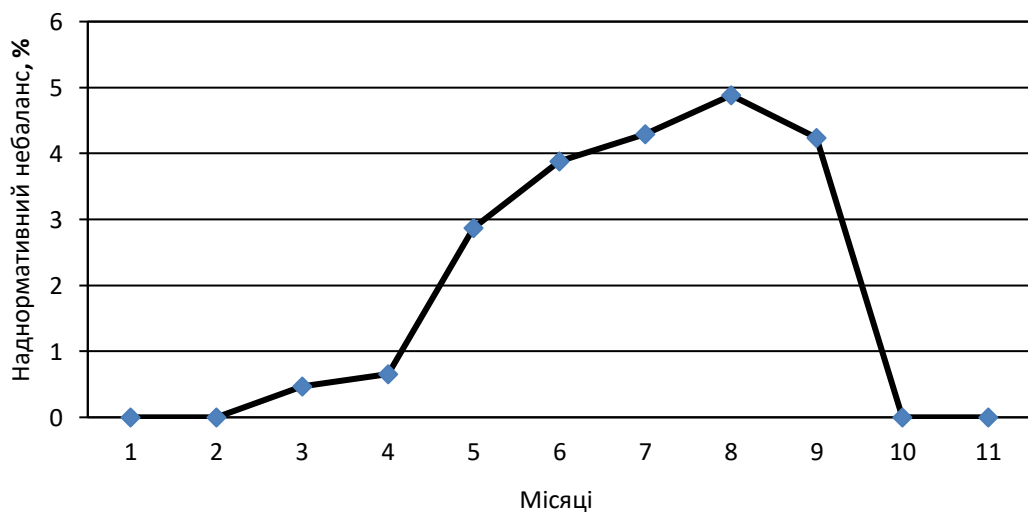


Рисунок 3.7 – Наднормативний активний небаланс тягової підстанції

Найбільший небаланс на тяговій підстанції, що розглядається, спостерігався в грудні 2020 р. і становив 4,88 %. Для аналізу причин

небалансів було проаналізуємо завантаження трансформаторів напруги та трансформаторів струму. Дані були зібрані за режимними вимірами на тяговій підстанції [28]. В результаті було виявлено, що трансформатори недовантажені. Коефіцієнт завантаження для трансформаторів струму не перевищував 0,46. Аналогічні роботи було проведено і на тягових підстанціях ЕЧ-3 Львівської залізниці, було виконано вимірювання параметрів вторинних ланцюгів обліку у мережах 110, 35, 27 кВ. За результатами вимірів виявлено недозавантаженість як трансформаторів струму, так й трансформаторів напруги [29].

Таким чином, лібералізація ринку електроенергії, її закупівля з ОРЕ дозволила використовувати гнучкі принципи розрахунків за електроенергію. У результаті оптимізації режимів на дистанції електропостачання було проведено (після вимірювань зовнішніх характеристик тягових підстанцій та визначення рівня напруги на шинах 3,3 кВ) перемикання анцапф тягових трансформаторів, яке дозволило оптимізувати витрати електроенергії та напруги на шинах тягових підстанцій. Можна стверджувати, що можливе зниження споживання електроенергії на 474 тис. кВт·год.

Як зазначалось, до 2006 р. користувались нормативними інструкціями з розрахунку норм витрати електроенергії на потреби стаціонарних споживачів і при цьому мали такі недоліки:

- колишні нормативні документи щодо визначення норм витрат електроенергії на потреби стаціонарних споживачів не враховували низку структурних та технічних змін у стаціонарних споживачах. Так, наприклад, за нормування витрат електроенергії для пасажирської служби враховувалися лише вокзали та не враховувалися пасажирські вагонні депо, пункти технічного обслуговування. При нормуванні витрат електроенергії для служби колії враховувалися лише дистанції колії;

- у нормативних документах, які використовувалися при плануванні витрат електроенергії на експлуатаційні потреби, використовувалися

номограми, що враховують географічну широту. Такий підхід був незручним для визначення норм витрат для українських залізниць;

- за роки незалежності докорінно змінився характер сезонності роботи залізниць загалом.

У процесі виконання науково-дослідної роботи розроблено удосконалені методологічні засади та створено нормативну документацію щодо визначення норм витрати електроенергії на потреби стаціонарних споживачів залізниць України. При цьому норми витрати електроенергії запропоновано визначати за розробленими регресійними залежностями. Методологія покладена основою методичних вказівок ЦЕ-0015.

Можна зазначити, що витрату електроенергії на власні потреби РУ-3,3 кВ доцільно визначати за встановленою потужністю та тривалістю роботи обладнання.

Встановлено, що причиною наднормативних небалансів електроенергії є низьке завантаження вимірювальних трансформаторів струму та напруги. Для підтвердження нормованих метрологічних характеристик трансформаторів напруги згідно з їх класами точності 0,5 при дійсних значеннях потужностей та коефіцієнтів потужності їх вторинного навантаження було запропоновано потужність вторинного навантаження обмоток та коефіцієнти потужності вторинного навантаження трансформатора напруги привести у відповідність до вимог ГОСТ-1974 та ГОСТ ГОСТ-7746 відповідно. Для цієї мети запропоновано підключати до вторинної обмотки трансформатора напруги додатковий опір.

ВИСНОВКИ

Аналіз систем електропостачання потягів постійного струму залізниць України показав, що на сучасному етапі розвитку вони працюють в умовах лібералізації ринку електроенергії, значного зносу основного силового обладнання, незадовільної енергетичної та економічної ефективності. Тому необхідна розробка методів енергозбереження, які дозволяють знаходити рішення за кількома критеріями за змінних у часі тарифів на електроенергію, враховуючи рівень надійності силового обладнання.

На основі аналізу поточного стану енергопостачання залізниці країни запропоновано метод визначення потенціалу енергозбереження для систем тягового електропостачання постійного струму, запропоновано його класифікацію. Існуючий потенціал енергозбереження в системі енергопостачання дозволить визначити ефективність енергозберігаючих заходів із урахуванням системного ефекту з урахуванням оцінок прямого зниження втрат електроенергії у системі зовнішнього електропостачання.

Запропонована математична модель вибору енергозберігаючих заходів у системах тягового електропостачання на основі методу аналізу ієрархій дозволяє системно підходити до вибору енергозберігаючих заходів. Даний метод аналізу забезпечує узгодженість експертних оцінок на всіх етапах ранжування альтернатив. Для наочного подання системи енергозберігаючих заходів у системі тягового електропостачання, визначення сумарного ефекту доцільно використовувати графову модель.

Розроблені на основі аналізу методу ієрархій підходи до енергоефективної модернізації тягових підстанцій Придніпровської залізниці дозволяє враховувати надійність силового обладнання, можливість використання змінних тарифів за електроенергію на потяг. Можна рекомендувати перейти на нову схему трансформації 35/3,3 кВ, що дозволяє здійснювати закупівлю електроенергії за тарифом 1-го класу, а не за тарифом 2-го класу, як за старої схеми трансформації 35/6/3,3 кВ. Попередні

розрахунки показали, що економічний ефект від оптимізації витрат на придбання електроенергії для тягової підстанції Дніпро може становити біля 4,08 млн. грн. на рік (у цінах 2021 р.).

Запропоновано залежності для визначення норм витрати електроенергії для стаціонарних споживачів залізниць України на рівнях лінійних підприємств, служб, залізниць, головних управлінь та на рівні Укрзалізниці, що використовуються в експлуатаційній роботі підприємств залізничного транспорту. Розглянуто питання щодо можливого визначення норм витрат електроенергії на власні потреби тягових підстанцій, постів секціонування та пунктів паралельного з'єднання, що потенційно дозволяє планувати споживання електроенергії.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Аржанников Б. А. Система управляемого электроснабжения электрифицированных железных дорог постоянного тока / Б. А. Аржанников // Ж.-д. трансп. Сер. Электроснабжение железных дорог / ЭИ ЦНИИТЭИ МПС. – 1990. – № 4. – С. 17-27.
2. Праховник А.В. Шляхи подолання перешкод і створення ефективної енергетики України / К.: Енергетика и электрификация, №1, 2003, с.7-12
3. Неклепаев, Б. Н. Электрична частина станцій та підстанцій. Підручник для студентів вузів.- М.: Енергія, 1976.-552с.
4. Концепція Державної програми реформування залізничного транспорту України. Схвалено розпорядженням Кабінету Міністрів України № 651-р від 27 грудня 2006 р. – К. : Укрзалізниця, 2006.
5. Марквардт Г. Г. Применение теории вероятностей и вычислительной техники в системе энергоснабжения / Г. Г. Марквардт. – М. : Транспорт, 1972. – 224 с.
6. Марквардт К. Г. Учет напряжения в тяговых сетях / К. Г. Марквардт, Г. Г. Марквардт, Г. И. Гатальский // Ж.-д. трансп. – 1977. – № 5. – С.59-60.
7. Кузнецов В. Г. Нормування витрат електроенергії для споживачів залізничного транспорту: монографія / В. Г. Кузнецов. – Д. : Вид-во Маковецький, 2012. – 216 с.
8. Мирошниченко Р. И. Режимы работы электрифицированных участков / Р. И. Мирошниченко. – М. : Транспорт, 1982. – 207с.
9. Оптимизация режимов ведения поездов по критерию минимума стоимости потребленной активной и реактивной электроэнергии / В. В. Скалзуб, В. Г. Кузнецов, Д. А. Босый, А. П. Иванов // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2008. – № 4. – С. 111-114.
10. Кузнецов В. Г. Підвищення енергетичної ефективності електротранспорту шляхом удосконалення процесу перевезень / В.Г.

- Кузнецов, К. О. Калашников // Тезисы докл. Международной конф. «Трансэлектро – 2009», Місхор. – Д. : ДПТ, 2009. – С. 54-55.
11. Кузнецов В. Г. Дослідження показників транспортного потоку на електрифікованій дільниці для визначення раціональних режимів системи тягового електропостачання / В. Г. Кузнецов, К. О. Калашников // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2010. – № 3(82). – С. 57-61.
 12. Железко Ю. С. Расчет, анализ и нормирование потерь электроэнергии в электрических сетях: руководство для практических расчетов / Ю. С. Железко, А. В. Артемьев, О. В. Савченко. – М. : Изд-во НЦ ЭНАС, 2004. – 280 с.
 13. Маслов Г. П. Электроснабжение железных дорог : конспект лекций. Ч. 1 / Г. П. Маслов, Г. С. Магай, О. А. Сидоров. – Омск : ОмГУПС, 2006. – 48 с.
 14. Черемисин В. Т. Контроль удельного расхода и «условных» потерь электроэнергии / В. Т. Черемисин, С. И. Петров, А. Г. Зверев // Ж.-д. трансп. – 2010. – № 10. – С. 47-50.
 15. Пирогов В. Н. О повышении достоверности учета и анализа допустимых и фактических небалансов электроэнергии на электростанциях, подстанциях и в сетях / В. Н. Пирогов, И. П. Старцев, И. П. Парцахашвили // Электрические станции. – 2003. – № 1. – С. 65-67.
 16. Номенклатура витрат по основній діяльності залізниць України. – К. : Транспорт України, 1996. – 134 с.
 17. Методичні вказівки щодо визначення норм витрат електроенергії для стаціонарних споживачів залізниць. ЦЕ-0015: затв.: Наказ Укрзалізниці № 545-Ц від 28.12.2006 р. / розроб. В. Т. Доманський, В. Г. Кузнецов. – К. : Мін-во трансп. України; Укрзалізниця, 2007. – 108 с.
 18. Концепція функціонування та розвитку оптового ринку електричної енергії України: затв. Постановою Кабінету Міністрів України від 16 листопада 2002 р. № 1789. – К., 2002. – 75 с.

19. Povh M. Modeling Long-Term Electricity Forward Prices / M. Povh, S. E. Fleten // Power Systems, IEEE Transactions on. – 2009. – № 4. – P. 1649-1656.
20. The influences of climatic factors on electricity prices in liberalized market in Finland / K. Laitinen, J. Hovila, T. Mannila, L. Korpinen // Electric Utility Deregulation and Restructuring and Power Technologies, 2000. Proceedings. DRPT 2000. Intern. Conf. on. – 2000. – P. 544-548.
21. Zhengjun L. Electricity price forecasting model based on chaos theory / L. Zhengjun, Y. Hongming, L. Mingyong // Power Engineering Conference, 2005. IPEC 2005. The 7th Intern. – 29-11-2005. – P. 1-449.
22. Звіт про діяльність Національної комісії регулювання електроенергетики України у 2010 році: затв. Постановою НКРЕ України № 684 від 21.04.2011. – К. : НКРЕ, 2011.
23. Журахівський А. В. Оптимізація режимів електроенергетичних систем : навчальний посібник / А. В. Журахівський, Н. Р. Засідкович, А. Я. Яцейко. – Л. : Вид-во Нац. ун-ту «Львівська політехніка», 2009. – 140 с.
24. Ковалко М. П. Енергозбереження – пріоритетний напрямок державної політики України / М. П. Ковалко, С. П. Денисюк, А. К. Шидловський. – К. : УЕЗ, 1998. – 506 с.
25. Державна цільова економічна програма енергоефективності і розвитку сфери виробництва енергоносіїв з відновлюваних джерел енергії та альтернативних видів палива на 2010-2015 роки: із змінами затв. постановою Кабінету Міністрів України від 1 березня 2010 р. № 243 та від 25.01.2012 № 105. – К., 2010. – 22 с.
26. Євтухова Т. О. Структурно-функціональні особливості побудови системи управління енергозбереженням у ЖКГ України / Т. О. Євтухова // Проблеми загальної енергетики. – 2010. – № 2(22). – С. 39-44.
27. Симборський А. І. Потенціал енергозбереження у цементній промисловості / А. І. Симборський, В. В. Станиціна // Проблеми загальної енергетики. – 2010. – № 3(23). – С. 25-29.

28. Землянов В. Б. Енергооптимальні технології аналізу та регулювання електроспоживання на тягу поїздів: автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.22.09 / Землянов Володимир Борисович; [ДНУЗТ]. – Д., 2000. – 23 с.
29. Скалозуб В. В. Комплексные задачи выбора режимов ведения поезда по показателю стоимости электроэнергии / В. В. Скалозуб // Транспорт: сб. наук. пр. – 2002. – Вып. 12. – С. 148-157.
30. Скалозуб В. В. Многокритериальные задачи анализа транспортных сетей с учетом специализированных свойств носителей потоков / В. В. Скалозуб, Л. А. Паник // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2009. – № 3. – С. 79-84.
31. Гетьман Г. К. Определение оптимальной по минимуму расхода энергии на движение поезда мощности локомотива / Г. К. Гетьман // Напівпровідникові та мікропроцесорні пристрої в електроенергетичних системах транспорту: сб. наук. пр. – 2000. – Вып. 39. – С. 41-48.
32. Праховник А. В. Контроль ефективності енерговикористання - ключова проблема управління енергозбереженням / А. В. Праховник, В. Ф. Находов, О. В. Борисенко // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. – 2009. – № 8(66). – С. 41-54.

Додаток А

Демонстраційні матеріали до магістерської роботи

Підвищення ефективності використання електричної енергії

для живлення тягових підстанцій

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Запорізький національний університет
Інженерний навчально-науковий інститут
ім. Ю.М. Потебні

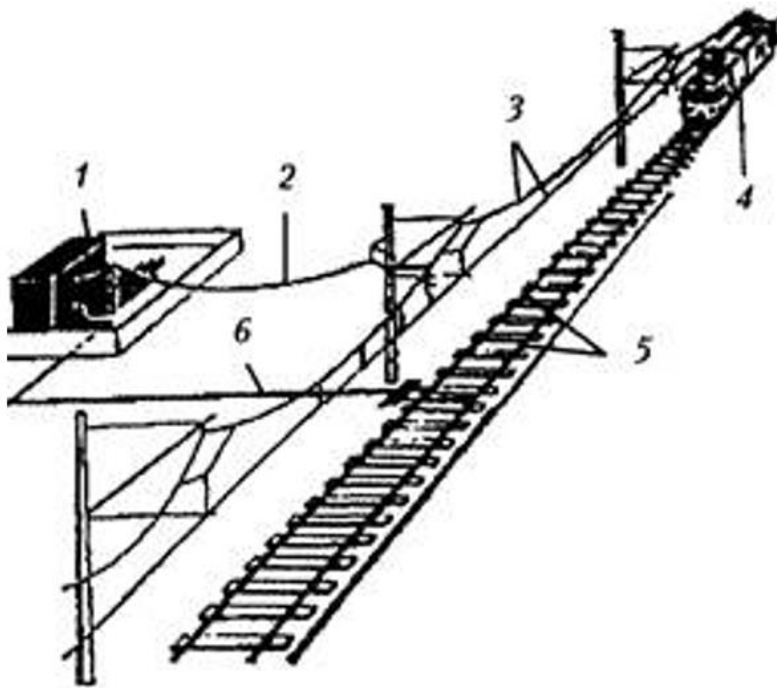
Кафедра електричної інженерії та кіберфізичних систем

Підвищення ефективності використання
електричної енергії для живлення
тягових підстанцій

Виконав: студент гр. 8.141 Доценко В.І.

Науковий керівник: к.т.н., доцент Овчинникова І.А.

Основні елементи тягової мережі



- 1 – тягова підстанція;
- 2 – фідер (живляча лінія);
- 3 – контактна мережа;
- 4 – електрорухомий склад;
- 5 – рейкова мережа;
- 6 – відсмоктувальна лінія

Структура споживання електроенергії



Принципова схема системи тягового електропостачання (СТЕ) постійного струму

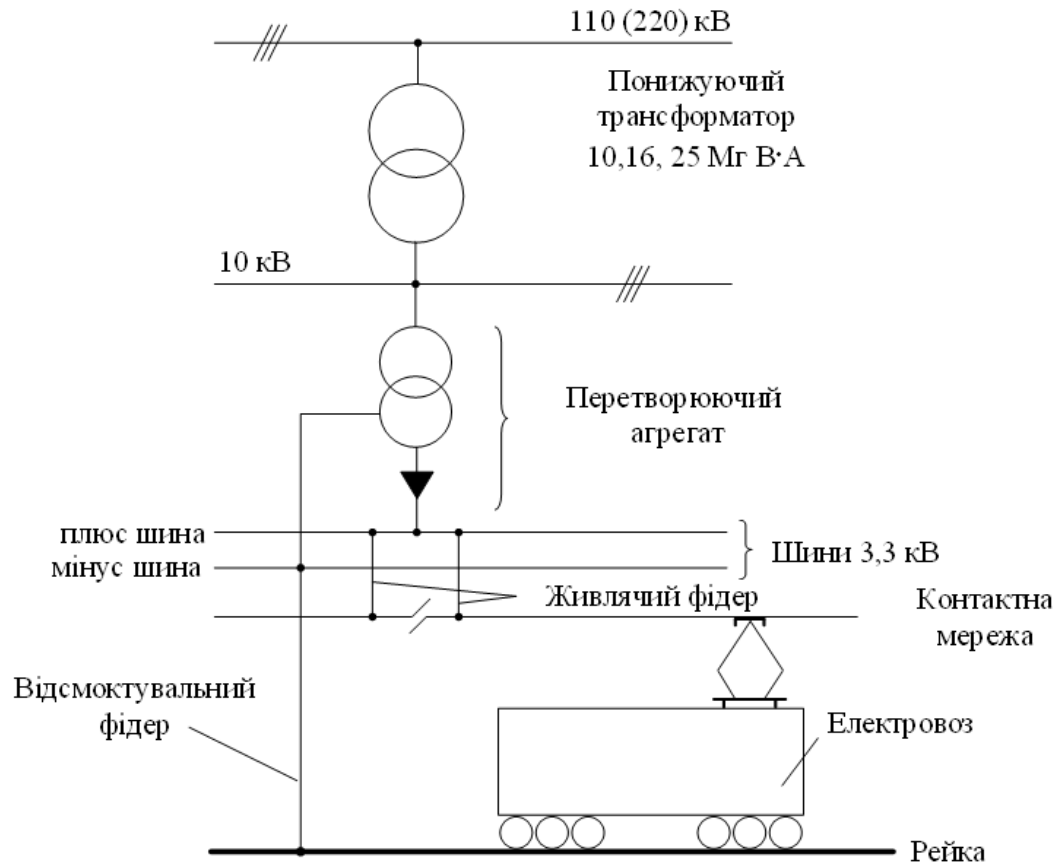
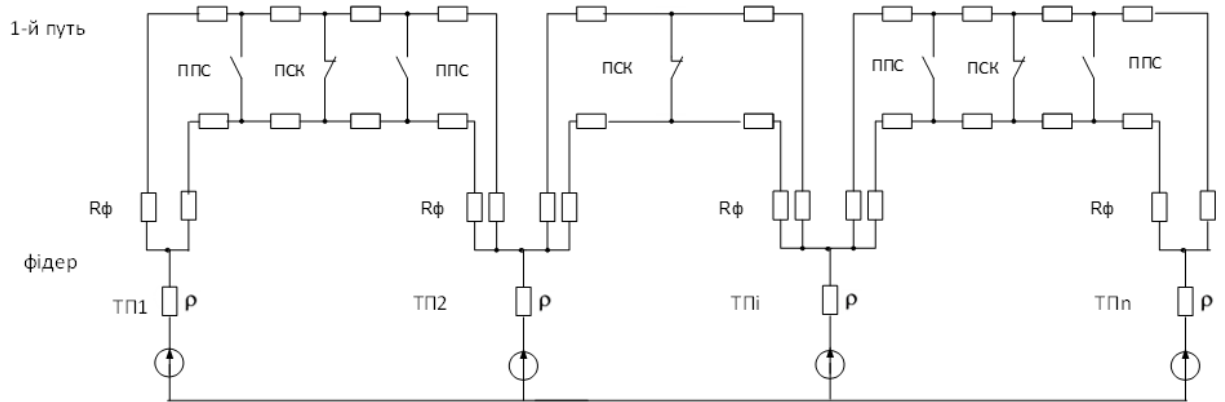


Схема замещения электрифицированной дільнки постійного струму

5



Аналіз споживання електроенергії мережами залізниць

Залізниця	Об'єм надходження (з втратами)	Технологічні втрати електроенергії в локальних мережах	На власне споживання залізниць		Передача електроенергії стороннім організаціям	
			всього	в т.ч. залізничним споживачам	всього	в т.ч. споживання сторонніми споживачами
	млн кВт·год	млн кВт·год	млн кВт·год	млн кВт·год	млн кВт·год	млн кВт·год
Донецька	2159,8	103,0	801,6	162,2	1 255,2	112,3
Львівська	1 521,6	53,6	545,0	94,3	922,4	105,8
Одеська	1 744,1	49,3	1 154,3	107,1	540,5	68,7
Південна-Західна	2 337,0	69,7	1 177,5	158,5	1 089,8	179,9
Південна	1 263,5	58,0	575,9	108,6	629,6	93,3
Придніпровська	2 523,8	59,0	1 127,0	193,4	1 337,8	142,7
Укрзалізниця	11 549,6	392,6	5 381,3	824,1	5 775,3	702,7

Класифікація енергозберігаючих заходів у СТЕ

