

В. Г. Сиченко<sup>1</sup>  
 А. В. Рогоза<sup>1</sup>  
 М. М. Пулін<sup>2</sup>

## КІЛЬКІСНА ОЦІНКА СТІЙКОСТІ СИСТЕМИ ТЯГОВОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ ЗА НАПРУГОЮ

<sup>1</sup>Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені акад. В. Лазаряна;

<sup>2</sup>Регіональна філія «Львівська залізниця» ПАТ «Укрзалізниця»

*Розвиток і впровадження швидкісного руху вимагає зміни підходів до модернізації системи тягового електропостачання, оскільки застосовувана система тягового електропостачання постійного струму не завжди може забезпечити передачу електроенергії необхідної потужності і якості. До обмежень, що виникають, відносяться зниження напруги на струмоприймачах електровоза нижче допустимого для нормальної експлуатації значення і нагрів проводів контактної мережі, що сприяє втраті їх механічної міцності. Процес електроспоживання в тяговій мережі відбувається під впливом різномірних збурень: зміни режимів роботи електрорухомого складу в залежності від особливостей графіка руху поїздів, профілю колії і наявних обмежень, короткочасних відривів струмоприймачів і різного роду перехідних процесів, тому режим напруги в тяговій мережі під впливом цих збурень має нестационарний коливальний характер з різкими змінами напруги, що може призвести до зниження стійкості взаємодії системи тягового електропостачання та електрорухомого складу. За наявності таких важкоконтрольованих факторів, межа стійкості може наставати за різних значень параметрів, що впливають. Для оцінки запасу стійкості в вузлах навантаження енергосистем використовуються коефіцієнти запасу за напругою, так як напруга на шинах є основним контрольованим параметром для живлячих розподільних підстанцій. Саме такий підхід, із застосуванням практичних критеріїв стійкості за напругою, і був застосований в цій роботі. Результати розрахунків критеріїв стійкості за напругою при функціонуванні системи тягового електропостачання на реальній ділянці електрифікованої залізниці дозволили встановити статичну нестійкість за напругою в окремих перетинах тягової мережі. Звідси випливає, що існуючі схеми живлення не дозволяють витримувати необхідний режим напруги в тяговій мережі і забезпечувати необхідну стійкість за напругою при швидкісному русі, що обумовлює необхідність переходу до нових схемних рішень систем тягового електропостачання.*

**Ключові слова:** швидкісний рух, система тягового електропостачання, режим напруги, пункт підсилення, стійкість за напругою.

### Вступ

Процес електроспоживання в тяговій мережі відбувається під впливом різномірних збурень: зміни режимів роботи електрорухомого складу в залежності від особливостей графіка руху поїздів, профілю колії та наявних обмежень, короткочасних відривів струмоприймачів, різного роду перехідних процесів тощо. Режим напруги в тяговій мережі під впливом цих збурень має нестационарний коливальний характер з різкими змінами напруги, які можуть призводити до низки проблем, таких як буксування, пошкодження зчіпних приладів або появи кругового вогню на колекторах тощо. Різкий спад напруги супроводжується значним зменшенням струму і сили тяги, також може бути небезпечним для електрорухомого складу.

Дослідження режимів напруги в тяговій мережі та їх впливу на функціонування системи тягового електропостачання за необхідної умови дотримання заданої пропускної здатності висвітлено в багатьох наукових роботах. Сформовані раніше науковцями підходи для оцінки рівня напруги обмежуються визначенням напруги за середніх умов руху чи за найбільшої його інтенсивності [1], [2]. Однак, величини цих напруг зовсім недостатні для характеристики функції напруги, як випадкової величини, і тому не можуть дати вичерпного уявлення про режими роботи електрифікованої

залізниці. Справа в тому, що вирішуючи поставлене завдання, маємо декілька обмежень:

- зазвичай, для режимів роботи електрифікованої ділянки встановлюються три рівні напруги: мінімальна, максимальна та середня. При цьому числові значення цих напруг можуть бути різними для кожної міжпідстанційної зони та мають випадковий характер;

- неможливо встановити закон розподілу напруги в тяговій мережі, тому оцінку змін рівнів напруги на струмоприймачі проводять або для кожного перегону, або відносно завданого Правилами тягових розрахунків [3] рівня 3000 В;

- на рівень напруги у тяговій мережі значний вплив має рівень тягового навантаження, яке є різним для кожної ділянки і має випадковий характер;

- незважаючи на існуючі норми рівнів напруги в тягових мережах, різкоколивальний характер змін напруги на струмоприймачі електровоза робить їх значення «умовними», а закладений в норми великий діапазон змін напруги 2,2-3,85 кВ не дозволяє оптимізувати наперед траєкторію руху потягу навіть при відомій його вазі або завданій швидкості руху.

Вирішення проблеми вбачалося в знаходженні «оптимальної напруги» з регламентованими межами змін, яка забезпечить рух поїзда з визначеною швидкістю, необхідною для забезпечення завданого часу ходу по перегону з мінімальними витратами на тягу та втратами потужності [2, 4]. Втрати напруги і електроенергії в тяговій мережі визначаються в основному струмом тягових двигунів електровозів і параметрами тягової мережі. При різних середніх напругах на струмоприймачеві за рахунок відповідного підбору режиму ведення поїздів можна одержати однаковий час ходу по ділянці (однакову криву швидкості руху), якому відповідає та ж сама корисна механічна робота по переміщенню поїзда. При цьому прагнення до звуження діапазону відхилення напруги є умовою забезпечення номінального режиму тягових і допоміжних машин електровоза [5]. Вирішення цього завдання покладається на застосування пристроїв регулювання напруги: такий підхід врешті призвів до створення концепції керованого електропостачання [6], яка була реалізована на одній з ділянок Свердловської залізниці.

Однак, на більшості залізниць постійного струму відсутні засоби регулювання напруги, а керівні впливи на її рівень здійснюються малозатратними тривіальними засобами підсилення тягової мережі, які не в змозі, як зазначалось вище, забезпечити необхідну стійкість системи тягового електропостачання (СТЕ) за напругою.

Забезпечення стійкої та надійної роботи будь-якої системи є важливою задачею, яка потребує свого вирішення. В даний час не існує чіткої класифікації видів стійкості [7]. Проте, з позицій системного підходу, можна розглядати різні види стійкості: стійкість техніки; технологічну стійкість; організаційну стійкість; стійкість зовнішніх зв'язків; екологічну стійкість; структурну стійкість і т.п. Кожен з видів стійкості впливає на якісні характеристики роботи системи.

Через складність явищ та процесів, що проходять в електроенергетичних системах (ЕЕС), «фізичне» поняття стійкості для зручності традиційно розкладають на складові. В країнах колишнього СРСР була досить поширена математична декомпозиція стійкості на поняття «стійкість паралельної роботи енергосистем» та «стійкість навантаження». В той же час, в країнах Європейського енергетичного об'єднання використовується дещо інша класифікація цього явища: «стійкість за кутом» та «стійкість за напругою». Зазначені різні математичні формалізації по різному розглядають єдину фізичну суть стійкості енергосистем, але ні в якій мірі не протирічать одна одній. При цьому, даний підхід дозволяє більш чітко розділити загальне поняття на окремі математичні складові. Крім того, враховуючи перспективи України щодо входження до Європейської Енергетичної Спільноти, доцільно певним чином визначитися та залучити до використання сучасні світові підходи щодо аналізу стійкості режимів енергосистем [8].

Розрахунки стійкості виконуються при проектуванні та експлуатації енергосистем, а саме: вибір схеми живлення ЕЕС та уточнення розміщення основного обладнання; визначення допустимих режимів системи; вибір заходів щодо підвищення стійкості ЕЕС при зміні схеми живлення; визначення параметрів налаштування систем регулювання та керування, релейного захисту, АПВ тощо. Крім того, розрахунки стійкості проводяться при розробці та уточненні вимог до основного обладнання ЕЕС, релейного захисту, автоматики та системам регулювання за умовами стійкості ЕЕС.

Стійкість за напругою — це здатність енергосистеми підтримувати стійкі та прийнятні рівні напруги на всіх системах шин (СШ) як в нормальних, так і в післяаварійних та ремонтних режимах. Критерій стійкості енергосистеми за напругою полягає у тому, що в поточному режимі на кожній СШ при збільшенні напруги величина реактивної потужності на тій самій СШ повинна збільшуватись. Динамічна стійкість за напругою пов'язана з оцінкою та підтримкою напруги

впродовж 1-2 секунди відразу після великого збурення. Статична стійкість за напругою належить до форми стійкості, що визначається переважно статичними характеристиками навантаження та параметрами мережі. Статичну стійкість оцінюють за допомогою значення коефіцієнта запасу з напруги  $K_U$  у вузлах навантаження. Цей коефіцієнт визначається за формулою [9]:

$$K_U = \frac{U - U_{кр}}{U_{кр}},$$

де  $U_{кр}$  — це критична напруга у вузлі, за СОУ-Н-МЄВ 40.1-00100227-68:2012 [9] величина критичної напруги приймається  $0,7U_{ном}$ .

Зазначимо, що у системі тягового електропостачання електрифікованих залізниць оперативне керування режимами функціонування має суттєві відмінності від практики електроенергетичних систем [10]. Вони полягають у фактичній відсутності засобів регулювання режимів та моніторингу показників функціонування СТЕ. У кращому випадку енергодиспетчер має інформацію про рівні напруги на шинах тягового навантаження та величини споживаних струмів фідерів. За наявною телеметричною інформацією про склад ввімкненого обладнання при відомих схемах живлення він здійснює керування режимом при взаємодії з поїздним диспетчером з урахуванням реальної пропускної спроможності електрифікованої ділянки. По навантажувальній здатності контактної мережі визначається мінімальний міжпоїздний інтервал для забезпечення сталої роботи СТЕ. При цьому у енергодиспетчера відсутній інструментарій для оцінки стійкості за напругою.

*Метою роботи є* кількісна оцінка стійкості системи тягового електропостачання за напругою згідно встановлених в електроенергетичних системах галузевих вимог.

### Результати дослідження

Відомо, що напруга на струмоприймачах електровозів навіть при нормальній схемі живлення міжпідстанційних зон змінюється у значних межах. При цьому, чим більша потужність споживається електровозом, тим більші межі змін. Оцінка впливу стійкості СТЕ за напругою має велике значення для функціонування електрорухомого складу. Це визначається тим, що у ряді випадків різкі зміни напруги можуть призвести до надмірного підвищення струму двигунів та тягових зусиль. Особливо неприємні наслідки при цьому можуть виникнути у разі роботи електровоза у режимі рекуперативного гальмування. Точне рішення поставленого питання надзвичайно ускладнене необхідністю розрахунку нелінійних залежностей, котрі визначають режими роботи СТЕ і ЕРС.

Тут необхідно звернути увагу, що рівень напруги в тяговій мережі залежить від значної кількості факторів, які змінюючись у часі, площині та просторі, мають ймовірнісний характер зі складними взаємозв'язками. З позицій систем автоматичного управління СТЕ — нелінійна розімкнена система с розподіленими параметрами. Традиційні підходи, застосовувані в теорії автоматичного управління, не дозволяють навіть з приблизною точністю отримати передатні характеристики СТЕ для подальших розрахунків стійкості за напругою.

Стійкість СТЕ є істотним чинником, що впливає на ефективність режимів тягового електропостачання та споживачів. Через недостатню пропускну здатність тягових мереж, застарілі методи їх проектування та експлуатації, відсутність сучасних способів оцінки стійкості та ефективних засобів її підвищення стійкість системи тягового електропостачання за напругою знижується. В установленому режимі функціонування реальної СТЕ її параметри постійно змінюються, що пов'язано з наступними факторами: зміною навантаження (кількістю ЕРС на міжпідстанційній зоні та зміною їхньої потужності); відхиленнями напруги; температурою нагрівання контактних проводів. Таким чином, в установленому режимі системи завжди є незначні збурення параметрів її режиму, при яких вона має бути стійкою.

Виходячи з визначення коефіцієнта стійкості за напругою  $K_U$  необхідно зазначити, що стійкість є величиною, пропорційною величині напруги на струмоприймачі електровозу. Тому крива стійкості буде мати ту ж форму, що й крива напруги. Кількісна оцінка стійкості за напругою СТЕ за виразом (1) виконувалась за таких припущень: СШ — ковзний контакт струмоприймача,  $U_{СШ} = f(t)$ ,  $U_{ном} = 3,3$  кВ,  $U_{кр} = 2,9$  кВ (для умов швидкісного руху).

В результаті застосування такого підходу в роботі [11] було встановлено, що в процесі руху поїзда по реальній ділянці мають місце зони відсутності стійкості за напругою. Для уточнюючого розрахунку статичної стійкості було обрано перегін між підстанціями “Ж-В” через наявність затяжного підйому, схема живлення — повна паралельна.

На першому етапі, з використанням експериментальних даних, було розраховано викиди напруги, тобто значні відхилення від середньої напруги, на розрахунковій зоні “Ж-В” та статичну стійкість. Таким чином, досліджувалась залежність стійкості від викидів напруги на струмоприймачі при русі електровоза по ділянці. Результати розрахунків наведено на рис. 1, 2.

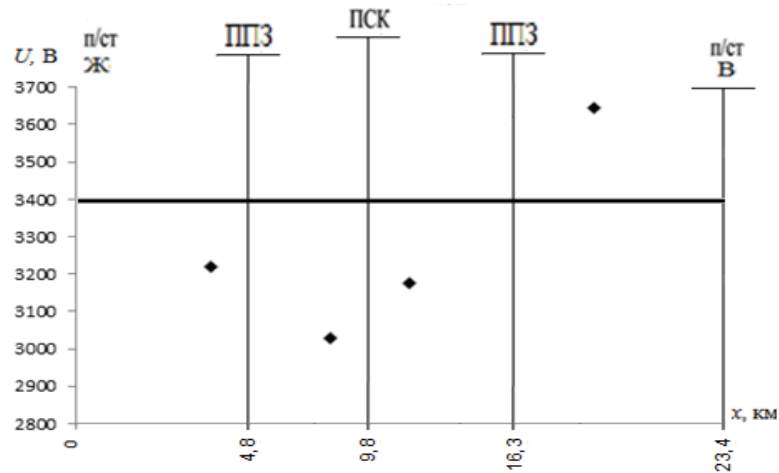


Рис. 1. Середня напруга на міжпідстанційній зоні “Ж-В” та викиди напруги

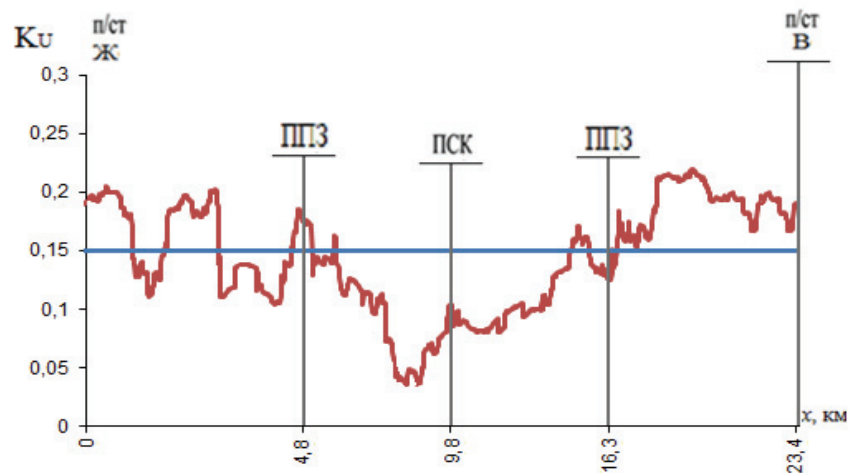


Рис. 2. Статична стійкість за напругою на ділянці “Ж-В”

З аналізу наведених графіків можна зробити висновок, що статична стійкість не задовольняє умові  $K_U < 0,15$  у тих місцях, де напруга на струмоприймачеві була нижчою 3,4 кВ. Таким чином, з цього можна зробити припущення, - якщо підвищити напругу у контактній мережі, то тим самим підвищиться і статична стійкість системи тягового електропостачання. При цьому підвищення напруги в тяговій мережі може призвести практично до пропорційного підвищення швидкості руху поїздів, за умови відсутності обмежень, тобто, збільшення пропускної здатності.

Надалі оцінювався вплив схеми живлення на стійкість СТЕ за напругою. Для обраної ділянки розглядалися наступні схеми живлення: повна паралельна, вузлова та двостороння [12]. Довжина ділянки 23,4 км, тип контактної підвіски М120+2МФ100+А185. Для кожної зі схем живлення проводився розрахунок рівнів напруги по всій довжині ділянки (враховуючи зрівнювальні струми), з використанням дійсних значень споживаного струму електровозу з експериментальних даних. Отримані графіки  $K_U$  статичної стійкості за напругою для різних схем живлення приведені на рис. 3.

Аналіз рис. 3 показує, що незалежно від схеми живлення тягової мережі СТЕ має нестійкі зони за напругою, що при впровадженні швидкісного руху вимагатиме розробки заходів по їх усуненню. Необхідно звернути увагу, що в зоні нестійкості за напругою розташовані пункт паралельного з'єднання і пост секціонування (ПСК), застосування яких покликане, в тому числі, і для поліпшення режиму напруги в тяговій мережі.

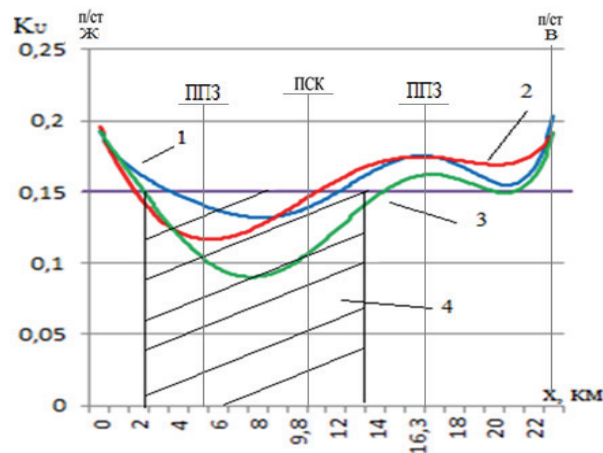


Рис. 3. Статична стійкість при застосуванні різних схем живлення: 1 — паралельна схема; 2 — вузлова схема; 3 — двостороння схема; 4 — зона нестійкості

Підсумовуючи результати всіх наведених розрахунків, можна сказати, що існуюча система електропостачання, з використанням будь-якої схеми живлення, не стійка за напругою і потребує модернізації. Тобто, існуюча схемотехніка СТЕ постійного струму не завжди в змозі забезпечити передачу електроенергії необхідної потужності і високої якості для високошвидкісних потягів.

Можна вказати наступні напрямки підвищення стійкості СТЕ за напругою:

- підвищення напруги на шинах тягових підстанцій;
- підвищення напруги на струмоприймачах електровозів;
- зменшення діапазонів зміни напруги в тяговій мережі;
- розробка несиметричних схем підсилення тягової мережі;
- застосування системи розподіленого живлення.

### Висновки

Існуючі системи тягового електропостачання, не в змозі у повному обсязі забезпечити провізну спроможність залізниць. Особливо гостро ця проблема стосується системи електричної тяги постійного струму 3 кВ на великих транспортних вузлах. Отже, необхідно шукати способи підвищення тягово-енергетичних можливостей експлуатованих систем тягового електропостачання для того, щоб сучасні енергетичні канали систем тягового електропостачання могли у повній мірі забезпечувати надійність та безперебійність живлення, стійкість до непередбачуваних впливів та високу енергоефективність.

Дослідження проблеми стійкості за напругою є фундаментом розробки технічних заходів по плануванню резервів потужності у системі тягового електропостачання постійного струму, направлених на підвищення режимної безпеки у ній як сьогодні, так і в найближчій перспективі. Це дозволить не лише дослідити стійкість за напругою для існуючих режимних умов, а також визначити вплив запланованого розширення полігону швидкісного руху, прогнозованого зростання навантаження та запланувати зміни у структурі системи електропостачання для забезпечення стійкості перспективних режимів.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Г. Г. Марквардт, *Применение теории вероятностей и вычислительной техники в системе энергоснабжения*. Москва, Россия: Транспорт, 1972.
- [2] Р. И. Мирошниченко, *Режимы работы электрифицированных участков*. Москва, Россия: Транспорт, 1982.
- [3] Б. А. Аржанников, и Ю. В. Ткачев, *Методика получения зависимости потери эл. эн. в тяг. сети от среднего напряжения на токоприемнике электровоза при заданном времени хода поезда по участку*. Свердловск, Россия: Уральский электромех. ин-т инж. ж.д. трансп, 1986.
- [4] *Правила технічної експлуатації залізниць*. Київ, Україна: 1997.
- [5] С. И. Осипов, *Рациональные режимы вождения поездов и испытания локомотивов*. Москва, Россия: Транспорт, 1984.
- [6] Б. А. Аржанников, *Система управляемого электроснабжения электрифицированных железных дорог постоянного тока*. Екатеринбург, Россия: УрГУПС, 2010.
- [7] Д. Г. Дерев'яноко, «Особенности оцінки запасу стійкості локальних систем з різнорідними джерелами генерації», *Енергетика економіка, технології, екологія. Спецвипуск, Матеріали аспірантських читань пам'яті А.В. Праховника*, 2013, с. 15-19.

[8] О. В. Кириленко, В. В. Павловський, Л. М. Лук'яненко, та Є. В. Зорін, «Аналіз стійкості енергетичних систем за напругою», *Технічна електродинаміка*. №3 с. 59-66.2010.

[9] *Стійкість енергосистем. Керівні вказівки*: СОУ-Н МЕВ 40.1 – 00100227 – 68: 2012.– Київ, Україна: ГРІФРЕ: Міненерговугілля України, 2012, 35 с.

[10] В. М. Авраменко, П. О. Черненко, Н. Т. Юнеєва, «Оцінювання поточного запасу статичної стійкості енергосистеми з використанням оперативного прогнозу вузлових навантажень», *Вісник Вінницького політехнічного інституту*, № 1, с. 90-93, 2013.

[11] В. Г. Сыченко, А. А. Матусевич, А. В. Рогоза, М. Е. Павличенко, И. Л. Васильев, и Н. Н. Пулин «Повышение энергетической эффективности в эволюционирующих системах электроснабжения» *Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»*. № 27 (1249), с. 182-186, 2017.

[12] Э. В. Тер-Оганов, и А. А. Пышкин, *Электроснабжение железных дорог: учебник для студентов университета*. Екатеринбург, Россия : УрГУПС, 2014.

Рекомендована кафедрою електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на транспорті ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 21.05.2018

**Сиченко Віктор Григорович** — д-р техн.наук, професор, завідувач кафедри «Інтелектуальні системи електропостачання», e-mail: elpostz@i.ua

**Рогоза Анастасія Володимирівна** — магістр кафедри «Інтелектуальні системи електропостачання».

Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту ім. академіка В. Лазаряна, Дніпро;

**Пулін Микола Миколайович** — начальник служби електропостачання.

Регіональна філія «Львівська залізниця» ПАТ «Укрзалізниця».

**V.G. Sychenko<sup>1</sup>**  
**A. V. Rogosa<sup>1</sup>**  
**M. M. Pulin<sup>2</sup>**

## Quantitative Assessment of the Durability of the Continuous Supply System

<sup>1</sup>Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after academician V. Lazaryan;

<sup>2</sup>Lviv railroad

*The development and implementation of high-speed traffic requires a change in approaches to the modernization of the traction power supply system since the applied DC traction system cannot always provide electricity with required power and quality. The resulting limitations include reducing the voltage on the pantograph of an electric locomotive below the permissible value for normal operation and heating the wires of the contact line, which contributes to the loss of their mechanical strength. The process of power consumption in the traction line occurs under the influence of different disturbances: changes in the operating modes of the electric rolling stock depending on the features of the train schedule, the track profile and available limitations, short-time detachment of pantograph and various transient processes; therefore, mode of voltage under the influence of these disturbances has a non-stationary oscillatory character with sudden changes in voltage that lead to a decrease in the stability of the interacting systems - power supply and electric rolling stock. In the presence of such hard-to-control factors, the stability limit may occur at different values of the influencing parameters. To estimate the stability margin in load nodes of power systems, reserve voltage factors are used, since the voltage on the bus bars is the main monitored parameter for power distribution substations. This approach on the basis of practical stress stability criteria was applied in this work. The results of the calculation of the stress stability criteria for the functioning of the traction power supply system on the real section of the electrified railway allowed to establish a static voltage instability in the individual sections of the traction line. It allowed making a conclusion that the existing power schemes do not allow to maintain the necessary voltage mode in the traction line and provide the necessary voltage stability for high-speed traffic, that leads to the transition to new circuit solutions for traction power supply systems.*

**Keywords:** high-speed movement, traction power system, voltage regime, gain point, voltage stability.

**Sychenko Victor Grigorovich** — Dr. Sc. (Eng.), Professor, Head of the Chair of "Intelligent Electrical Systems", e-mail: elpostz@i.ua.

**Rogozha Anastasia Vladimirovna** — Master of the department "Intelligent power supply systems", Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, the Dnieper;

**Pulin Nikolay Nikolayevich** — Chief of the power supply. Regional branch of "Lvivska zaliznitsa" PJSC "Ukrzaliznytsya".

**В. Г. Сыченко<sup>1</sup>**  
**А. В. Рогоза<sup>1</sup>**  
**Н. Н. Пулин<sup>2</sup>**

## **Количественная оценка устойчивости системы тягового электроснабжения постоянного тока по напряжению**

<sup>1</sup>Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта им. Ак. В. Лазаряна;

<sup>2</sup>Региональный филиал «Львовская железная дорога» ПАО «Укрзалізниця»

*Развитие и внедрение скоростного движения требует изменения подходов к модернизации системы тягового электроснабжения, поскольку применяемая система тягового электроснабжения постоянного тока не всегда может обеспечить передачу электроэнергии необходимой мощности и качества. К возникающим ограничениям относятся снижение напряжения на токоприемниках электровоза ниже допустимого для нормальной эксплуатации значения и нагрев проводов контактной сети, что способствует потере их механической прочности. Процесс электропотребления в тяговой сети происходит под влиянием разнородных возмущений: изменения режимов работы электроподвижного состава в зависимости от особенностей графика движения поездов, профиля пути и имеющихся ограничений, кратковременных отрывов токоприемников и различного рода переходных процессов, поэтому режим напряжения в тяговой сети под влиянием этих возмущений имеет нестационарный колебательный характер с резкими изменениями напряжения, что может приводить к снижению устойчивости взаимодействующей системы тягового электроснабжения и электроподвижного состава. При наличии таких трудно контролируемых факторов, предел устойчивости может наступать при различных значениях влияющих параметров. Для оценки запаса устойчивости в узлах нагрузки энергосистем используются коэффициенты запаса по напряжению, так как напряжение на шинах является основным контролируемым параметром для питающих распределительных подстанций. Именно такой подход, с применением практических критериев устойчивости по напряжению, и был применен в данной работе. Результаты расчетов критериев устойчивости по напряжению при функционировании системы тягового электроснабжения на реальном участке электрифицированной железной дороги позволили установить статическую неустойчивость по напряжению в отдельных сечениях тяговой сети. Отсюда следует, что существующие схемы питания не позволяют выдерживать необходимый режим напряжения в тяговой сети и обеспечивать необходимую устойчивость по напряжению при скоростном движении, что обуславливает необходимость перехода к новым схемным решениям систем тягового электроснабжения.*

**Ключевые слова:** скоростное движение, система тягового электроснабжения, режим напряжения, пункт усиления, устойчивость по напряжению.

**Сиченко Виктор Григорьевич** — д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой «Интеллектуальные системы электроснабжения», e-mail: elpostz@i.ua

**Рогоза Анастасия Владимировна** — магистр кафедры «Интеллектуальные системы электроснабжения»,

**Пулин Николай Николаевич** — начальник службы электроснабжения.